

CALCULADORA DE CARBONO EM OBRAS GEOTÉCNICAS

ANA RITA MONTEIRO TEIXEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM GEOTECNIA

Dissertação em Ambiente Empresarial

Orientador: Professor Doutor António Joaquim Pereira Viana Da Fonseca

Coorientadora: Doutora Sara Rios da Rocha e Silva

Coorientador: Eng. Ivo Rosa

JUNHO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais
Às minhas irmãs
Ao meu namorado
E em especial à minha sobrinha

O sucesso é a soma de pequenos esforços, repetidos diariamente.

Robert J. Collier

AGRADECIMENTOS

Gostaria de manifestar o meu mais sincero agradecimento a todos os que ajudaram a tornar esta dissertação real em especial:

- À Professora Doutora Sara Rios da Rocha e Silva por todo o conhecimento, tempo e paciência disponibilizados, pelo empenho e cuidado com que orientou este trabalho e pelas sugestões que enriqueceram este trabalho;

- Ao Engenheiro Ivo Rosa e à Teixeira Duarte, S.A pela possibilidade da parceria que levou à execução desta dissertação, assim como de todo o conhecimento transmitido;

- Ao Professor Doutor Viana da Fonseca, pela conceção do tema da dissertação em conjunto com o Engenheiro Ivo Rosa, assim como da possibilidade de participação do tema e de todas as ideias de desenvolvimento deste;

- À LASO, Transporte e a Solvay pela disponibilidade apresentada na disponibilização de dados necessários à realização desta dissertação;

- Aos colegas de Geotecnia que fizeram do desenvolvimento da dissertação num momento único, ao apoio e troca de impressões possibilitadas por estes.

- A minha família a Maria Inês e ao Marco pelo apoio e ajuda nos momentos mais difíceis assim como na comemoração e participação nos momentos mais alegres, sem eles esta dissertação já mais seria possível;

- A todos os Professores que influenciaram as minhas decisões até chegar a esta etapa, em especial ao Professor Doutor José Fernandes, à Professora Maria Eugénia Lopes e ao Professor Doutor José Manuel Sousa.

RESUMO

A questão da proteção do ambiente tem-se enraizado cada vez mais na cultura Europeia, sendo desta forma transmitida para as empresas e instituições que nela se localizam. Embora esta questão seja frequentemente abordada em muitos outros países do mundo, esta dissertação dará mais ênfase à posição Europeia.

A ferramenta em estudo pretende ajudar a indústria da construção, mais especificamente a área da geotecnia, a contribuir para a sustentabilidade ambiental. A calculadora de carbono tem como objetivo auxiliar as empresas numa escolha mais consciente das soluções construtivas, avaliando as respetivas técnicas de execução quanto à sua libertação de gases de efeito estufa.

A calculadora da EFFC/DFI/Carbone4, não pretende só avaliar as emissões de carbono de uma obra, como tem também o intuito de estabelecer a comparação entre várias soluções, de modo a encontrar a melhor. Ao contrário das restantes calculadoras, os seus parâmetros e base de dados foram desenvolvidos e orientados para obras geotécnicas especiais. Um dos pontos avaliados na calculadora é o custo, questão fundamental para proceder à comparação da emissão por unidade de custo. Este poderá ser um argumento que aliado às emissões se torne decisivo tanto para o construtor como para o dono de obra.

Para se poder compreender melhor o seu funcionamento recorreu-se à aplicação de duas obras distintas, sendo que cada uma possui mais de uma solução. Uma refere-se ao tratamento do solo numa cunha de transição entre uma ponte e um aterro enquanto a segunda é uma obra de contenção no distrito do Porto. Relativamente à primeira obra mencionada serão realizadas colunas de *cutter soil mixing* (CSM), em que será comparada a utilização de cimento ordinário Portland, de cimento tipo III e por último de uma calda com ativação alcalina de cinzas volantes. A finalidade é avaliar a influência dos materiais utilizados nas emissões totais. A segunda obra pretende comparar a solução estrutural, constituída por uma cortina de estacas, com a segunda solução, que consiste na utilização de uma parede moldada como elemento de contenção. Sendo estes os subprojectos principais os restantes correspondem às duas soluções, e constituem o muro guia, a viga de coroamento e as ancoragens. O objetivo é avaliar a diferença nos valores de emissão, entre duas soluções tecnicamente equivalentes.

Este estudo é de grande importância para o sector da construção, uma vez que o prepara para as legislações e normas que limitam as emissões de carbono, que apesar de nem todas abrangerem este sector, com o aumento das exigências ambientalistas, levam a um constante aumento das áreas abrangidas.

A aplicação da calculadora de carbono a estes casos particulares permitiu não só uma maior compreensão do seu funcionamento, como levou a um maior conhecimento dos métodos construtivos em si.

PALAVRAS-CHAVE: CO₂-equivalente, calculadora de carbono, CSM, estacas, parede moldada.

ABSTRACT

The environmental protection issue has gained roots in European culture, and it is transmitted to its companies and institutions. Although this question is often approached in many other countries of the world, this dissertation will give more emphasis to the European position.

The tool studied in this work aims to encourage the construction industry, namely the geotechnical area, to contribute to the environmental sustainability. The carbon calculator helps companies to do a more conscious choice of constructive solutions, by evaluating the release of greenhouse gases of the different technical activities necessary for their implementation.

The EFFC / DFI calculator does not only intend to evaluate the carbon footprint of a work, but also to establish a comparison between various solutions in order to find the best. Unlike other calculators, its parameters and databases have been developed and targeted for special geotechnical works. One of the points assessed by the calculator is the cost, the key issue for making a comparison of emission per unit of cost. This may be an argument that together with emissions becomes decisive for both the contractor and the project owner.

In order to understand its functioning the calculator has been applied to two distinct works, each containing more than one solution. The first refers to the soil treatment related to a transition wedge between a bridge and an embankment and the second is related to a real project containing a retaining structure. For the first work, cutter soil mixing columns (CSM) are considered and three types of materials for the grout are compared: the ordinary Portland cement, Type III cement, and finally a binder made by the alkaline activation of fly ash. The purpose is to evaluate the influence of the materials used in total emissions. The second work intends to compare the structural solution composed by a secant pile wall, with the second solution that uses a diaphragm wall as retaining element. These are the main subprojects, while the remaining subprojects are equal for both solutions, and constitute the guide wall, the distributing beam and the anchors. The purpose is to evaluate the difference in the emission values between two technically equivalent solutions.

This study is of great importance to the construction industry as it prepares the companies for the forthcoming laws and rules limiting carbon emissions. At present, these regulations do not cover all this sector, but with increasing environmental requirements, the construction industry will be soon affected.

The application of the carbon calculator to these particular cases not only allowed a better understanding of its operation, but also led to a greater knowledge of the construction methods.

KEYWORDS: CO₂-equivalent, carbon calculator, CSM, piles, diaphragm wall.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO	1
2. CALCULADORA DE CARBONO.....	3
2.1. ENQUADRAMENTO DAS EMISSÕES DE CARBONO.....	3
2.2. DIRETIVAS COMUNITÁRIAS.....	7
2.2.1. QUADRO DE 2020.....	9
2.2.2. QUADRO DE 2030 PARA AS POLÍTICAS ENERGÉTICAS E DO CLIMA	10
2.2.3. QUADRO DE 2050	11
2.3. METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DAS PEGADAS DE CARBONO	12
2.4. AS CALCULADORAS DE CARBONO EXISTENTES NO SECTOR DA CONSTRUÇÃO	14
2.4.1. PCC (BAM)	14
2.4.2. GREEN SIESTA (BALFOUR BEATTY)	14
2.4.3. BACHY SOLETANCHE CARBON CALCULATOR.....	14
2.4.4. PRISM (SOLETANCHE BACHY).....	15
2.4.5. KELLER CALCULATOR	15
2.4.6. CEMENTATION SKANSKA CALCULATOR	15
2.4.7. TATA STEEL/BCSA CARBON CALCULATOR.....	15
2.4.8. ENVIRONMENT AGENCY (UK) CARBON CALCULATOR.....	15
2.4.9. COMPARAÇÃO DAS CALCULADORAS.....	15
2.5. O PORQUÊ DA CALCULADORA DE CARBONO.....	19
2.6. O MERCADO DAS LICENÇAS DE CARBONO	19
2.7. CERTIFICAÇÃO DOS PROJETOS DE CONSTRUÇÃO/EDIFÍCIOS	24
2.7.1. BREEAM.....	24
2.7.2. LEED	25
2.7.3. A DGNB CERTIFICATION SYSTEM	26
2.7.4. HQE™	26
2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
3. A CALCULADORA DE CARBONO DA EFFC/DFI/Carbone4	29

3.1. O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DA CALCULADORA, ENTIDADES ENVOLVIDAS	29
3.1.1. ENTIDADES ENVOLVIDAS	29
3.1.2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO	30
3.2. DESCRIÇÃO DA CALCULADORA.....	30
3.3. OS FATORES DE EMISSÃO.....	31
3.4. O PERÍMETRO DO CICLO DE VIDA DE UMA DETERMINADA ATIVIDADE	35
3.5. DADOS DA ATIVIDADE E SISTEMATIZAÇÃO DOS CÁLCULOS	35
3.6. CONCLUSÃO.....	37
4. CUNHA DE TRANSIÇÃO COM COLUNAS DE CSM	39
4.1. INTRODUÇÃO	39
4.2. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	43
4.3. DADOS REQUERIDOS PELA CALCULADORA DE CARBONO	44
4.4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA CALCULADORA	49
4.4.1. SOLUÇÃO COM CIMENTO CEM I.....	49
4.4.2. SOLUÇÃO COM CIMENTO CEM III.....	51
4.4.3. SOLUÇÃO COM AA	53
4.4.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES	56
5. OBRA DE CONTENÇÃO	59
5.1. INTRODUÇÃO	59
5.2. DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA DA OBRA	59
5.3. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO – OBRA DE ESTACAS	60
5.4. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO – PAREDE MOLDADA	66
5.5. DADOS REQUERIDOS PELA CALCULADORA	68
5.5.1. CORTINA DE ESTACAS	68
5.5.2. PAREDE MOLDADA.....	74
5.6. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA CALCULADORA	81
5.6.1. SOLUÇÃO DA CORTINA DE ESTACAS	81
5.6.2. SOLUÇÃO DA PAREDE MOLDADA	82
5.6.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES	83
6. ANÁLISE DA CALCULADORA DE CARBONO	87
6.1. INTRODUÇÃO	87
6.2. ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA CALCULADORA	87
6.3. ANÁLISE DAS QUANTIDADES DE MATERIAIS.....	90
6.4. ANÁLISE DA MOBILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	91

6.5. CONTRIBUIÇÃO PARA O ESCLARECIMENTO DE EVENTUAIS ERROS.....	95
6.6. ASPETOS A MELHORAR NA CALCULADORA	97
7. CONCLUSÕES.....	99
BIBLIOGRAFIA.....	104

ANEXO A.1	I
ANEXO A.2	VII
ANEXO A.3	XXIII

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Previsão das mudanças climáticas anuais próximo da superfície nos períodos de 2021-2050 e 2071-2100 (European Environment European Environment Agency, 2013).....	3
Fig. 2.2. Emissões Globais dos GEEs Antropogénicos: a) Emissões anuais globais de GEEs antropogénicos entre 1970 e 2004.; b) Percentagem das emissões dos diferentes constituintes de CO ₂ antropogénico em 2004 ; c) Percentagem que cada sector tem relativamente a libertação de GEEs Antropogénicos (Bernstein, L. [et al.], 2007).....	5
Fig. 2.3. Contribuição dos diferentes GEEs na concentração total de GEE (European Environment Agency, 2014)	6
Fig. 2.4. Emissões de GEE com ano base de 1990 (Objetivo nacional: -1% com ano base 2005; Objetivo Europeu: -20% ano base 1990) (Commission, E., 2014h)	8
Fig. 2.5. Emissões de GEE dos países (Commission, E., 2014h)	8
Fig. 2.6. Percentagem de energia renovável no consumo final de energia (objetivo Nacional: 31% de consumo de energias renováveis; objetivo Europeu: 20% de consumo de energias renováveis) (Commission, E., 2014h).....	8
Fig. 2.7. Percentagem de energias renováveis no consumo bruto final de energia (Commission, E., 2014h)	9
Fig. 2.8. Princípio do Cálculo da Pegada de Carbono (Rosa, I. [et al.], 2014)	13
Fig. 2.9. Volume de Trocas das Licenças de Emissão na EU em milhões de toneladas (Commission, E., 2013) – <i>Over de Counter</i> é um sistema de transição de ações em bolsa com recurso a um corretor de bolsa	23
Fig. 3.1 Escolha de Fatores de Emissão (CORDEK, 2014)	32
Fig. 3.2. Fases de análise do ciclo de vida do "cradle to grave" (DFI/EFFC/Carbon4, 2013)	35
Fig. 3.3. Diagrama da Calculadora de Carbono, através da análise de dois projetos, por dois subprojectos(DFI/EFFC/Carbon4, 2013)	36
Fig. 4.1. Esquema de uma zona de transição - ponte, aterro (Lopes, J.A.F.d.P., 2008).....	39
Fig. 4.2. Cabeça de corte com duas rodas dentadas e jato (Bauer, 2014)	40
Fig. 4.3. Geometria da cunha de transição	40
Fig. 4.4. Esquema representativo da malha de furação	41
Fig. 4.5. CSM Sistema de uma fase (Bauer, 2014)	42
Fig. 4.6. Dimensões da coluna de CSM	42
Fig. 4.7. Cronograma do projeto de CSM	47
Fig. 4.8. tCO ₂ e para cada parâmetro do CEM I (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	49
Fig. 4.9. Influência de cada parâmetro no total das emissões CEM I (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	50
Fig. 4.10. Emissão total CEMI (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	50
Fig. 4.11. Repartição Percentual das Emissões CEM I (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	50
Fig. 4.12. Importância das fontes primárias e secundárias para cada projeto CEM I (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	51
Fig. 4.13. tCO ₂ e para cada parâmetro do CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	51
Fig. 4.14. Influência de cada parâmetro no total das emissões CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	52
Fig. 4.15. Emissões totais CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	52
Fig. 4.16. Repartição Percentual da Emissões CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	53
Fig. 4.17. Fontes de emissão CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	53
Fig. 4.18. tCO ₂ e para cada parâmetro da Ativação Alcalina (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)....	54

Fig. 4.19. Influência de cada parâmetro no total das emissões da Ativação Alcalina (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	54
Fig. 4.20. Emissões Totais AA (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	55
Fig. 4.21. Repartição Percentual das Emissões AA (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	55
Fig. 4.22. Fontes de Emissão AA (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	55
Fig. 4.23. Análise de kgCO ₂ e/€ (CEM I, CEM III, AA) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	56
Fig. 4.24. Detalhes dos tipos de materiais (CEM I, CEM III, AA) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	57
Fig. 4.25. Repartição percentual das emissões (CEM I; CEM III; AA) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	57
Fig. 5.1. Muros guia retos	61
Fig. 5.2. Cofragem em Poliestireno Expandido (CORDEK, 2014)	61
Fig. 5.3. Muro Guia (CORDEK, 2014).....	62
Fig. 5.4. Trado contínuo	63
Fig. 5.5. Entubamento Temporário	63
Fig. 5.6. Varas Kelly	64
Fig. 5.7. Trado Progressivo	64
Fig. 5.8. Estacas saneadas (EFFC, E.F.o.F.C.-, 2014)	64
Fig. 5.9. Obturador duplo no parque operacional da Teixeira Duarte (fotografia pessoal).....	65
Fig. 5.10. Cabos de Ancoragem	66
Fig. 5.11. Macaco hidráulico.....	66
Fig. 5.12. Balde de Maxilas.....	68
Fig. 5.13. Juntas Metálicas	68
Fig. 5.14. Cronograma execução do projeto de execução das estacas	71
Fig. 5.15. Cronograma da Construção do projeto de parede moldada	78
Fig. 5.16. Valores das emissões de cada parâmetro das estacas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI) ..	81
Fig. 5.17. Peso percentual das emissões de CO ₂ e das estacas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI) ..	81
Fig. 5.18. Valores das emissões de cada parâmetro das paredes moldadas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	82
Fig. 5.19. Peso percentual das emissões de CO ₂ e das paredes moldadas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	82
Fig. 5.20. Comparação percentual das emissões das estacas e parede moldada (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	83
Fig. 5.21. Emissões dos projetos paredes moldadas e estacas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI) ..	83
Fig. 5.22. Detalhe dos materiais que emitem mais CO ₂ e nas estacas e parede moldada (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	85
Fig. 5.23. Tipos de emissões das estacas e paredes moldadas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI) ..	85
Fig. 5.24. Análise de kgCO ₂ e/€ (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	86
Fig. 6.1. Dados iniciais (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	87
Fig. 6.2. Dados dos materiais (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	88
Fig. 6.3. Dados do transporte dos materiais a) e b) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	88
Fig. 6.4. Dados relativos ao consumo de energia (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	89
Fig. 6.5. Dados relativos ao transporte de equipamentos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	89
Fig. 6.6. Dados relativos ao transporte de pessoas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	89
Fig. 6.7. Dados sobre os equipamentos a) e b) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	90
Fig. 6.8. Dados sobre os resíduos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	90
Fig. 6.9. Dados genéricos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	90

Fig. 6.10. Emissões de CO ₂ e obtidos através dos dados da obra e da calculadora (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	91
Fig. 6.11. Caso 1 - valores introduzidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	92
Fig. 6.12. Caso 1 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	92
Fig. 6.13. Caso 2 - valores introduzidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	92
Fig. 6.14. Caso 2 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	92
Fig. 6.15. Caso 3 - valores inseridos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	93
Fig. 6.16. Caso 3 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	93
Fig. 6.17. Caso 4 - valores inseridos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	93
Fig. 6.18. Caso 4 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	94
Fig. 6.19. Caso 5 - valores inseridos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	94
Fig. 6.20. Caso 5 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	94
Fig. 6.21. Cálculo das viagens correto (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	95
Fig. 6.22. Cálculo de viagens incorreto (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	95
Fig. 6.23. Valores para técnica "other" (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	96
Fig. 6.24. Valores das restantes técnicas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	96
Fig. 6.25. Funcionamento incorreto do <i>roundtrips</i> (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	97
Fig. 6.26. Funcionamento correto do <i>roundtrips</i> (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)	97
Fig. 6.27. Parâmetro dos resíduos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	97
Fig. 6.28. Folha de visualização da calculadora de carbono (Calculadora de Carbono EFFC/DFI).....	98

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 Factor de conversão: Potencial de Aquecimento Global para um período de 100 anos (GWP ₁₀₀), que representa o impacto relativo no aquecimento global de 1 kg de gás comparado ao de 1 kg de CO ₂	5
Quadro 2.2. Redução de emissões por sector (Commission, E., 2014k).....	11
Quadro 2.3. Normas Corporativas (DFI/EFFC/Carbon4, 2013).....	12
Quadro 2.4. Normas de Produtos (DFI/EFFC/Carbon4, 2013).....	13
Quadro 2.5. Comparação entre as Calculadoras de Carbono	16
Quadro 2.6. Guia de Utilização (DFI/EFFC/Carbon4, 2013)	17
Quadro 2.7. Método/Referências e Base de Dados (DFI/EFFC/Carbon4, 2013).....	18
Quadro 2.8. Diferenças entre a Fase 1 e a Fase 2.....	20
Quadro 3.1 Métodos de Cálculo das Emissões Secundárias	33
Quadro 3.2 Utilização do rácio para os diferentes tipos de fontes de emissão (DFI/EFFC/Carbon4, 2013)	37
Quadro 4.1. Caracterização Geométrica.....	43
Quadro 4.2. Localização.....	44
Quadro 4.3. Quantidades de Trabalhos para a solução “CSM cimento”	45
Quadro 4.4 Quantidades de Materiais	45
Quadro 4.5. Quantidades de Trabalhos	46
Quadro 4.6. Resíduos CSM Cimento	46
Quadro 4.7. Planeamento CSM.....	47
Quadro 4.8. Equipamentos	48
Quadro 4.9. Consumo CSM cimento	48
Quadro 4.10. Equipas CSM.....	48
Quadro 4.11. Orçamentação CSM	49
Quadro 5.1. Caracterização Geométrica da Cortina de Estacas e da Parede Moldada.....	60
Quadro 5.2. Quantidades de Trabalhos da obra de estacas	69
Quadro 5.3 Materiais para a obra de estacas	70
Quadro 5.4. Resíduos – Estacas	70
Quadro 5.5. Planeamento da execução das estacas	71
Quadro 5.6. Equipamento – Execução das estacas	72
Quadro 5.7. Consumo para a realização das estacas	73
Quadro 5.8. Equipa para a execução de estacas	74
Quadro 5.9. Quantidades de Trabalhos - Parede Moldada.....	75
Quadro 5.10. Materiais -Parede Moldada	76
Quadro 5.11. Resíduos - Parede Moldada.....	76
Quadro 5.12 Planeamento - Parede Moldada.....	77
Quadro 5.13. Equipamento - Parede Moldada	79
Quadro 5.14. Consumo total para a execução da parede moldada.....	80
Quadro 5.15. Equipas - Parede Moldada.....	80
Quadro 5.16. Fontes de Emissão.....	84
Quadro 5.17. Estimativa de custo das soluções de contenção.....	85
Quadro 6.1. Análise das quantidades de materiais das estacas primárias	90
Quadro 6.2. Emissões referentes aos casos considerados	94

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

$n^{\circ} \text{ colunas}/m^2 \text{ de área planta} = 9(3l)^2 = 99l^2 = 1l^2$	(1) 41
$x = 1200l^2 \Rightarrow 100 = 1200l^2 \Leftrightarrow l = \sqrt{1200/100} = 3,5m$	(2) 41

SIGLAS E ABREVIATURAS

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

BS - British Standard

CAC - Comissão para as Alterações Climáticas

CO₂ – Dióxido de carbono

CO₂e – Dióxido de carbono equivalente

CSM – Cutter Soil Mixing

DEFRA – Department for Environment Food & Rural Affairs

DFI - Deep Foundation Institute

EEA - European Economic Area

EEX - European Energy Exchange

EFFC - European Federation of Foundation contractors

EFTA - European Free Trade Association

EPA - Environmental Protection Agency

ETS - Emissions Trading System

EUTL - European Union Transaction Log

GEE – Gases de Efeito Estufa

GHG – Greenhouse Gas

OPC - Ordinary Portland Cement

PCC - Project Carbon Calculator

PNAC - Programa Nacional para as Alterações Climáticas

Ppm – partes por milhão

UE – União Europeia

UK - United Kingdom

UKAS - United Kingdom Accreditation Service

tCO₂e – tonelada de dióxido de carbono equivalente

kgCO₂e – quilograma de dióxido de carbono equivalente

1

INTRODUÇÃO

O tema da calculadora de carbono desempenha um desafio ao conhecimento das verdadeiras consequências das atitudes humanas no ambiente e mais especificamente no que diz respeito às obras geotécnicas. A verdadeira motivação para este estudo provém de dois grandes fatores, em primeiro lugar descobrir como tornar mais ambientalmente sustentáveis as construções assim como o melhoramento da participação ambiental da indústria da construção e em segunda lugar é responder às exigências mundiais e comunitárias, que se refletem em protocolos e decretos-leis.

O segundo capítulo pretende dar a entender a necessidade da preocupação ambiental que abrange a situação do mundo e da Europa em particular. A pegada de carbono tem por base o cálculo das emissões de gases de efeito estufa associados a uma ou a várias atividades. Apesar da vasta diversidade de metodologias para a sua avaliação, todas elas têm em comum o princípio de cálculo da pegada de carbono, o qual se baseia na multiplicação da atividade por um fator de emissão. Este converte as emissões associadas a uma atividade em toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e), tendo por base o seu potencial de aquecimento global. Trata-se então de uma unidade métrica utilizada para comparar as emissões associadas às atividades desenvolvidas. Avalia-se e demonstra-se qual o sector que mais produz gases de efeito estufa e descreve-se as atitudes governamentais tomadas e as metas determinadas por estes. Para esse efeito, aborda-se dois dos grandes métodos de minimização. Um refere-se ao mercado de venda e troca de licenças de emissão de gases de efeito estufa ao nível Europeu que pretende desenvolver-se e promover a mesma atitude nos outros países. O segundo é meramente qualitativo, mas que pode ser um grande passo, a classificação dos edifícios em relação ao seu impacto ambiental, pode ainda, ser utilizado para promoção do mesmo, quer no momento de venda quer para a instituição que o construiu ou mandou construir. Dá-se também a conhecer o intuito de uma calculadora de carbono assim como explica a sua utilidade na minimização das emissões, cálculo da pegada de carbono e gastos económicos. Apresenta os vários tipos de calculadoras existentes, quem as produziu, assim como indica os tipos de elementos que avaliam.

O terceiro capítulo é exclusivamente dedicado à calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4, pois sendo este o tema da tese era crucial a descrição exaustiva desta, de modo a se poder compreender o seu funcionamento assim como o seu método de avaliação e comparação. É uma ferramenta de simples utilização implementada no programa comercial Excel® da Microsoft. Possui uma base de dados que pretende abranger uma grande parte dos elementos necessários para este tipo de obras, permitindo assim comparações entre outros projetos também criados na mesma. Abrange 14 tecnologias entre drenagem, contenção ou tratamento dos solos, que possuem dados base específicos para cada uma e que podem ser alterados consoante o conhecimento da obra, sendo tanto mais rigoroso quanto maior for o uso de dados reais e quanto menor for a utilização dos dados já fornecidos. As restantes técnicas não abrangidas poderão ser inseridas num tópico universal, não possuindo portanto dados específicos.

O quarto e quinto capítulos são referentes aos casos de estudo que permitem compreender melhor o funcionamento da calculadora. O quarto capítulo descreve uma cunha de transição que será tratada com recurso a Cutter Soil Mixing com três tipos de materiais: um será em cimento ordinário, outro em cimento do tipo três e o último através de ativação alcalina de cinzas volantes. A comparação é realizada ao nível das emissões de carbono equivalente e também a nível económico, sendo de grande interesse a análise da ativação alcalina de cinzas volantes, uma vez que é um método pouco aplicado a obras geotécnicas.

O quinto capítulo de estudo é referente a uma obra de contenção no distrito do Porto, para este caso serão analisadas duas técnicas para a sua contenção: a primeira é sustentada pelo projeto real da obra, ou seja uma cortina de estacas secantes, a segunda é uma solução alternativa em parede moldada, em que todas as componentes do projeto real serão adaptadas a esta solução. A comparação destes dois projetos para além das emissões de carbono e custos económicos, será ainda realizada através do planeamento da obra, ou seja da duração de cada uma.

Estes dois capítulos possuem deste modo todos os detalhes da obra, a sua geometria e os dados necessários para a inserção na calculadora de carbono.

São ainda analisados os dados obtidos através da calculadora, avaliando cada caso em particular passando para a comparação geral. O intuito é compreender qual a solução mais amiga do ambiente através do estudo dos gráficos comparativos que a calculadora fornece.

No capítulo 6 procede-se a uma análise de sensibilidade onde se pretende averiguar os diferentes resultados obtidos de um pressuposto singular. São, para tal, avaliados dois casos concretos, um referente aos materiais e ao seu transporte e outro referente às várias possibilidades permitidas pela calculadora de carbono no que diz respeito ao parâmetro mobilização e desmobilização. A calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4 ainda se encontra em fase de testes, sendo possível encontrar pequenas incongruências nos cálculos. É portanto importante uma análise consciente dos resultados de modo a identificar estas incongruências e corrigi-las para se obterem os dados corretos. Um dos objetivos desta dissertação é identificar estas gralhas e indicar, se possível, o modo de correção. Estes dados encontram-se neste capítulo onde se avaliam também, as possibilidades de melhorar o comportamento da calculadora.

2

CALCULADORA DE CARBONO

2.1. ENQUADRAMENTO DAS EMISSÕES DE CARBONO

As emissões de gases de efeito estufa têm-se vindo a aumentar ao longo dos anos e os continentes são os que mais demonstram este acontecimento, dado que se encontram a aquecer mais do que os oceanos. Deste modo é provável que nos 50 anos passados os dias e as noites frias tais como as geadas tenham dado lugar a dias e noites quentes sendo as ondas de calor mais frequentes, assim com as precipitações intensas se tenham tornado mais recorrentes. Em (European Environment Agency, 2013) aparece uma citação que analisa o caso Europeu “o tempo médio das ondas de calor no verão na zona ocidental da Europa duplicou desde 1880 e a frequência de dias quentes quase que triplicou” e que “da mesma forma, o número de noites frias diminuiu entre dois e nove dias por década. Especialmente, a Europa ocidental e central demonstrou o maior aumento nos dias/noites quentes e na Península Ibérica, áreas continentais no sul e este do Mediterrâneo, Europa norte ocidental e Escandinávia têm mostrado o maior aquecimento dos dias/noites frias”. É possível verificar através da Fig. 2.1 a previsão climática entre 2021 a 2050 e 2070 a 2100 na Europa, demonstrando assim a subida gradual da temperatura continental.

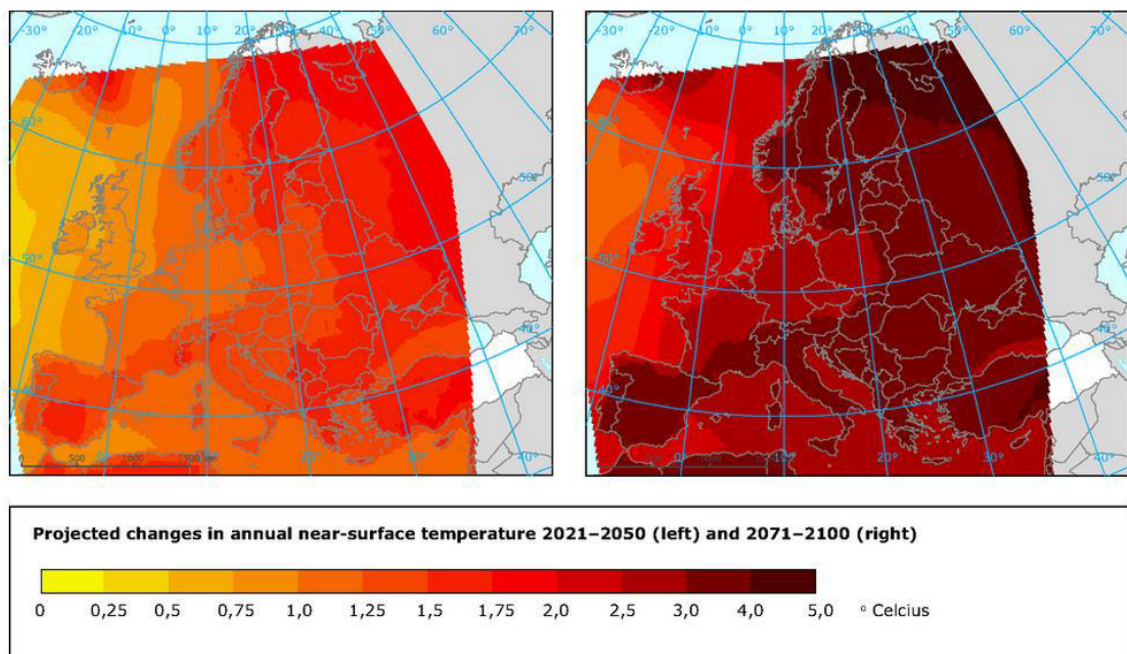


Fig. 2.1. Previsão das mudanças climáticas anuais próximo da superfície nos períodos de 2021-2050 e 2071-2100 (European Environment European Environment Agency, 2013)

O nível do mar tem demonstrado também estas alterações, sendo visível, desde 1975, uma subida em todo o mundo. Para se poder ter uma noção das alterações mais notáveis nos oceanos é necessário

analisar a sua acidificação, a captação de carbono antropogénico, originou uma diminuição do pH de 0,1 unidades tornando a água dos oceanos mais ácida (Bernstein, L. [et al.], 2007).

As alterações nas concentrações atmosféricas de Gases de Efeito Estufa (GEE), aerossóis, uso do solo e a radiação solar interferem no equilíbrio energético do sistema climático sendo o dióxido de carbono (CO_2) o GEE antropogénico mais importante, dado que a sua emissão anual cresceu cerca de 80% entre 1970 e 2004 (Bernstein, L. [et al.], 2007). Este aumento foi principalmente causado pela intensificação do consumo de combustíveis fósseis e pelo contributo da alteração do uso do solo.

Desde 1950 que o aumento das emissões dos GEEs tem sido rápido: enquanto o primeiro aumento de 50 ppm (partes por milhão) relativamente ao valor do dióxido de carbono pré-industrial (CO_2) foi atingido nos anos 1970s, ou seja, mais de 200 anos após os tempos pré-industriais, o segundo aumento de 50 ppm ocorreu, aproximadamente, 30 anos depois (European Environment Agency, 2014).

O equilíbrio da radiação na terra depende dos gases de efeito estufa (GEE) e estes ainda são cruciais para o clima global, de tal modo que se estes não existissem a temperatura média seria de cerca de 32°C abaixo do que é agora. Todos os GEEs afetam o sistema climático de maneiras diferentes como é possível verificar na Fig. 2.2 e pela sua evolução ao longo dos anos (Fig. 2.3), sendo que para uma verdadeira análise do seu impacto foi necessário somar os efeitos destes na atmosfera. Para tal foi definida a concentração de GEE equivalente, isto é, a concentração de CO_2 que provocaria a mesma quantidade de “radiative forcing”¹ que a mistura de CO_2 e dos outros GEEs num ano horizonte de 100 anos (European Environment Agency, 2014) (Quadro 2.1).

Apesar da vasta diversidade de metodologias, todas elas têm em comum o princípio de cálculo da pegada de carbono, o qual se baseia na multiplicação da atividade por um fator de emissão. Este fator converte as emissões associadas a uma atividade em toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO_2e), tendo por base o seu potencial de aquecimento global. Trata-se desta forma de uma unidade métrica amplamente utilizada para comparar as emissões associadas às atividades desenvolvidas. Uma única unidade, tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) é utilizada para a quantificação do impacto de todos os GEEs.

As concentrações de CO_2 -equivalente, são assim mais fáceis de assimilar do que as “radiative forcing”.

¹ Existem várias definições para “Radiative forcing” sendo, aqui, apresentadas apenas duas, sendo a primeira de K. P. Shine [et al.], (2014), que a classifica como medida de quantificação e hierarquização de várias ações nas alterações climáticas, permite uma medida das alterações climáticas sendo que não pretende representar a resposta global do clima. Já Gunner Myhre [et al.] (2014) define-a como, variação líquida do balanço de energia do sistema da Terra devido a perturbações provocadas. É expresso em watts por metro quadrado durante um determinado período de tempo e quantifica o desequilíbrio energético que ocorre quando sucedem as perturbações Shine, K.P.; Derwent, R.G.; Wuebbles, D.J.; Morcrette, J-J. - Radiative Forcing of Climate. (2014). Disponível em WWW: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_i/ipcc_far_wg_i_chapter_02.pdf>. ibid., Myhre, Gunnar; Shindell, Drew; Bréon, François-Marie; Collins, William; Fuglestedt, Jan; Huang, Jianping; Koch, Dorothy; Lamarque, Jean-François; Lee, David; Mendoza, Blanca; Nakajima, Teruyuki; Robock, Alan; Stephens, Graeme; Takemura, Toshihiko; Zhang, Hua - Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. (2014). Disponível em WWW: <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf>. .

Quadro 2.1 Factor de conversão: Potencial de Aquecimento Global para um período de 100 anos (GWP_{100}), que representa o impacto relativo no aquecimento global de 1 kg de gás comparado ao de 1 kg de CO_2

Gás	GWP^2 em 100 anos (CO_2e)
Dióxido de carbono (CO_2)	1
Metano (CH_4)	25
Óxido nitroso (N_2O)	298
Hidrofluorcarboneto	12 to 12,000
Perfluorocarbono	5,700 to 11,900
Clorofluorcarbono	4,600 to 14,000

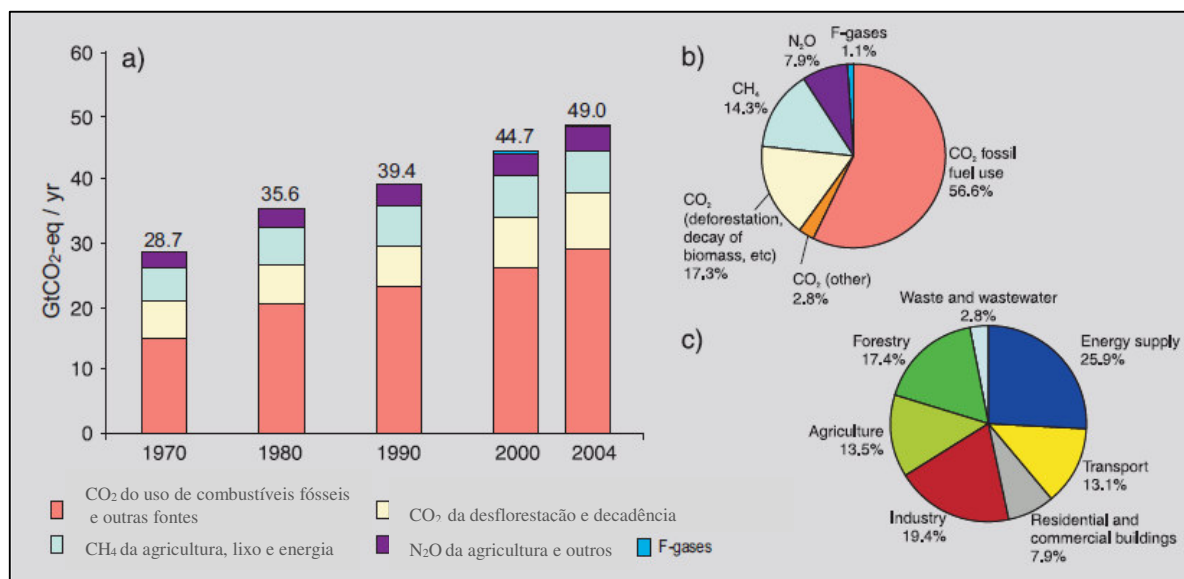


Fig. 2.2. Emissões Globais dos GEEs Antropogênicos: a) Emissões anuais globais de GEEs antropogênicos entre 1970 e 2004.; b) Percentagem das emissões dos diferentes constituintes de CO_2 antropogênico em 2004 ; c) Percentagem que cada sector tem relativamente a libertação de GEEs Antropogênicos (Bernstein, L. [et al.], 2007)

² GWP é o valor utilizado para comparar a capacidade dos diferentes gases de efeito estufa de reter calor na atmosfera, é baseado na habilidade de cada gas de absorver calor comparativamente com o dióxido de carbono, assim como a taxa de decaimento de cada um. É ainda utilizado para definir o impacto que os gases de efeito estufa terão no aquecimento global em anos horizontes ou períodos diferentes, normalmente são determinados para cada 20, 100 e 500 anos. Warming., 2014 Global Greenhouse - Global Warming Potential. 2014. Disponível em WWW: <<http://www.global-greenhouse-warming.com/global-warming-potential.html>>.

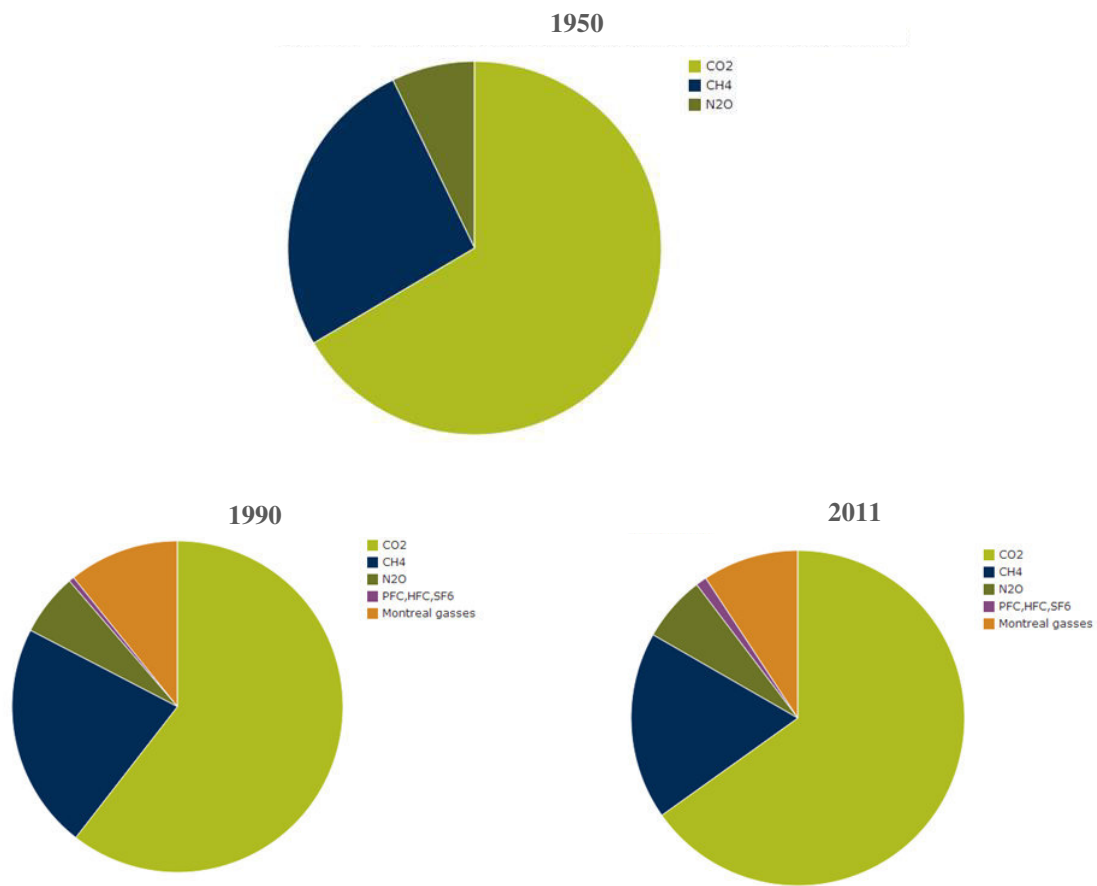


Fig. 2.3. Contribuição dos diferentes GEEs na concentração total de GEE (European Environment Agency, 2014)

Estudos do tipo “Bottom-up” e “top-down” (Bernstein, L. [et al.], 2007) são usados para analisar o potencial da mitigação das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), o primeiro avalia as opções de mitigação através de estudos sectoriais tomando a macro-economia como inalterada, já o segundo avalia o potencial económico das opções de mitigação. Ambos os estudos mostram que existe potencial económico na mitigação global das emissões de GEE nas próximas décadas que compensam o crescimento projectado das emissões globais ou redução abaixo dos níveis actuais.

No entanto, deve-se evidenciar que nenhum tipo de tecnologia consegue o potencial total de mitigação, em qualquer sector, estas tem de ser utilizadas em conjunto com políticas adequadas.

Por exemplo na indústria algumas alterações tecnológicas possíveis são: a utilização de equipamentos eléctricos mais eficientes; o reaproveitamento do calor e da energia; a utilização de materiais reciclados ou de substituição; o controlo de emissões de “non-CO₂” (outros gases de efeito estufa para além do CO₂), entre outras. Quanto às políticas, é possível prestar serviços de informação, criar subsídios, benefícios fiscais, licenças negociáveis e acordos voluntários. A criação de um valor efetivo de carbono pode ter um grande efeito de mitigação.

Com o intuito de controlar a emissão dos GEEs, foram estabelecidos acordos internacionais, como o UNEP (United Nations Environment Programme), conhecido como protocolo de Montreal, sobre as substâncias que atacam a camada de ozono e o protocolo de Quioto para a United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) que pretende limitar o aquecimento global. O protocolo de Quioto inclui como GEE: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e três gases fluorados; já o

protocolo de Montreal agrega outros três gases fluorados o clorofluorcarbonetos (CFCs), hidrofluorcarbonetos (HCFCs) e tricloroetano (CH_3CCL_3).

As medidas de mitigação utilizadas precocemente reduzem as alterações climáticas. Cerca de 60 a 80% das reduções virão de armazenamentos energéticos e processos industriais, sendo a eficiência energética uma importante aliada. Os baixos níveis de estabilização requerem investimentos antecipados, uma divulgação substancialmente mais rápida e a comercialização de tecnologias avançadas de baixas-emissões.

As previsões levam a acreditar que a temperatura média global irá continuar a aumentar no decorrer do século XXI essencialmente devido aos GEEs antropogénicos. O IPCC SRES Scenarios³ analisou que a média do aquecimento global entre 2011 e 2030, quando comparada com os anos de 1980 a 1990 encontra-se cerca de 0,64 a 0,69°C acima e que a meio do século XXI, ou seja entre 2046 e 2065 esta aumentará entre 1,3 e 1,8°C, para os mesmo modelos e cenários, já no final do século entre 2090 e 2099 este aumento encontrarse-a entre 1,8 e 4°C, (European Environment Agency, 2013) (estes cenários assumem que não serão criadas outras medidas políticas de limitação dos gases de efeito estufa e na faixa de incertezas do desenvolvimento socio-económico e dos modelos climáticos).

2.2. DIRETIVAS COMUNITÁRIAS

A União Europeia possui uma forte consciência ambientalista e como resultado disso encontra-se na vanguarda da procura de métodos para a diminuição da sua pegada ecológica, sendo a sua média de libertação de gases de efeito estufa, referente a todo o mundo, de 11%. Para assegurar que este número apenas diminuirá na comunidade europeia, esta comprometeu-se em 2007 que se tornaria numa economia energeticamente eficiente e com baixos consumos de carbono. O seu intuito, é para além de ajudar o ambiente e proteger as gerações futuras, impulsionar outras nações a seguirem os seus passos.

Apesar dos gastos a curto prazo, estes tornar-se-iam muito superiores se não se fizesse nada já. A aposta nas tecnologias verdes impulsiona a economia assim como promove a criação de postos de trabalho. A comunidade internacional acordou que se deveria manter a temperatura inferior a 2°C comparando com a temperatura da época pré-industrial, ou seja, uma subida não superior a 1,2°C acima de o valor de hoje.

As iniciativas da União Europeia consistem:

- No programa Europeu de alteração do clima, que levou a implementação de várias políticas;
- Na criação do mercado de licenças de emissão;
- Na adoção de uma legislação que obriguem a aumentar o uso de energias renováveis;

³ IPCC SRES Scenarios – Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Emissions Scenarios, O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) foi criado pelo World Meteorological Organisation (WMO) e pelo United Nations Environment Programme (UNEP) de forma a aceder periodicamente à ciência, aos impactos e sócio-economia provocadas pelas alterações do clima assim como a adaptação e opções de mitigação. A realização em 1994 dos senários relativos às emissões levou a necessidade, do Planário do IPCC de 1996 solicitar o Special Report on Emissions Scenarios. Este cobre um grande gama de forças motrizes das futuras emissões, que vão desde demografia à tecnologia e desenvolvimento económico. Nakicenovic, Nebojsa; Alcamo, Joseph; Davis, Gerald; Vries, Bert de; Fenhann, Joergen; Gaffin, Stuart; Gregory, Kenneth; Grübler, Arnulf; Jung, Tae Yong; Kram, Tom; Rovere, Emilio Lebre La; Michaelis, Laurie; Mor, Shunsuke; Morita, Tsuneyuki; Pepper, William; Pitcher, Hugh; Price, Lynn; Riahi, Keywan; Roehrl, Alexander; Rogner, Hans-Holger; Sankovski, Alexei; Schlesinger, Michael; Shukla, Priyadarshi; Smith, Steven; Swart, Robert; Rooijen, Sascha van; Victor, Nadejda; Dad, Zhou - Emissions Scenarios ENGLAND: 2000. Disponível em WWW: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>>.

- Na criação de metas para aumentar a eficiência energética;
- Em criar metas para a limitação das emissões dos transportes rodoviários;
- Em ajudar na criação e desenvolvimento de tecnologias de captação e armazenamento de CO₂.

A Fig. 2.4, Fig. 2.5, Fig. 2.6 e Fig. 2.7 demonstram as emissões e a produção de energias renováveis de Portugal assim como a sua posição relativa na União Europeia. Deste modo é possível entender melhor o esforço deste país para atingir os objetivos no protocolo de Quioto e da Comissão Europeia.

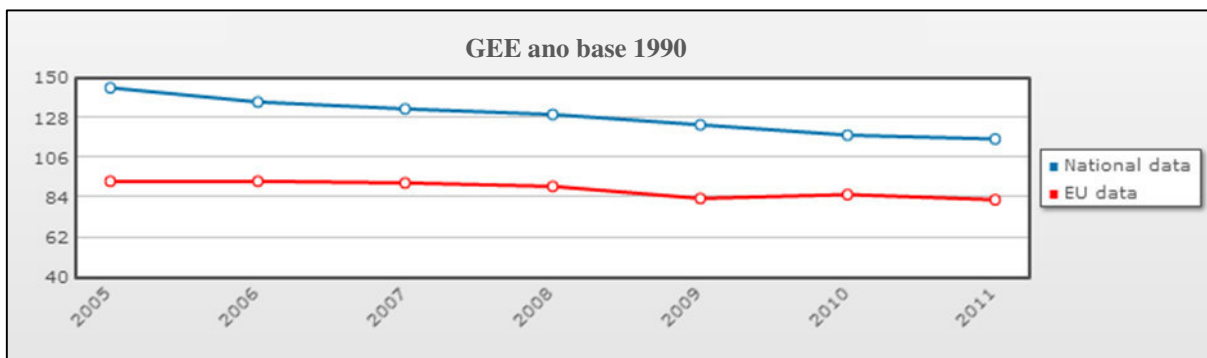


Fig. 2.4. Emissões de GEE com ano base de 1990 (Objetivo nacional: -1% com ano base 2005; Objetivo Europeu: -20% ano base 1990) (Commission, E., 2014h)

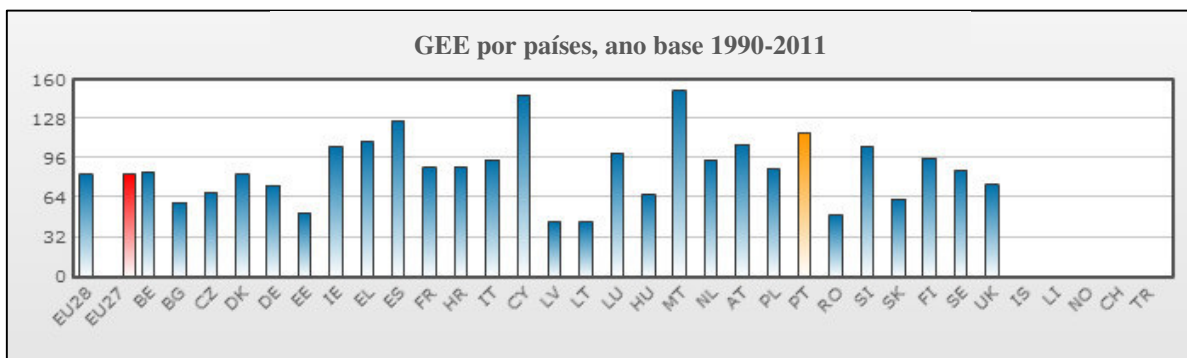


Fig. 2.5. Emissões de GEE dos países (Commission, E., 2014h)

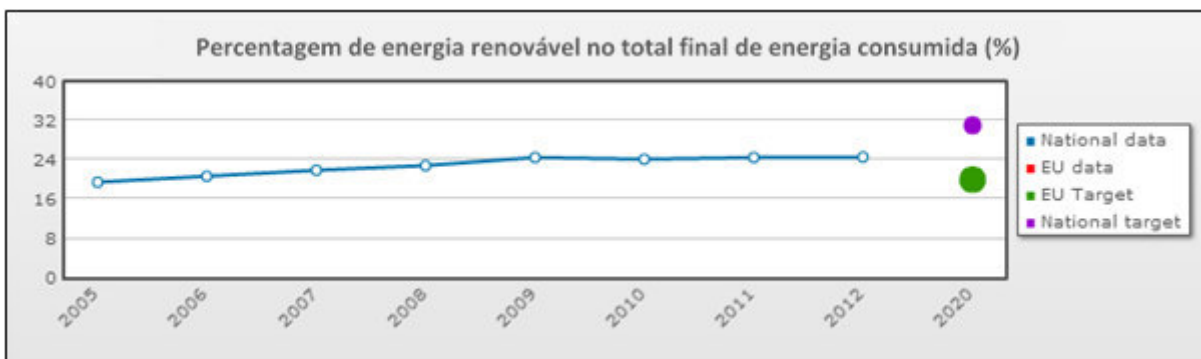


Fig. 2.6. Percentagem de energia renovável no consumo final de energia (objetivo Nacional: 31% de consumo de energias renováveis; objetivo Europeu: 20% de consumo de energias renováveis) (Commission, E., 2014h)

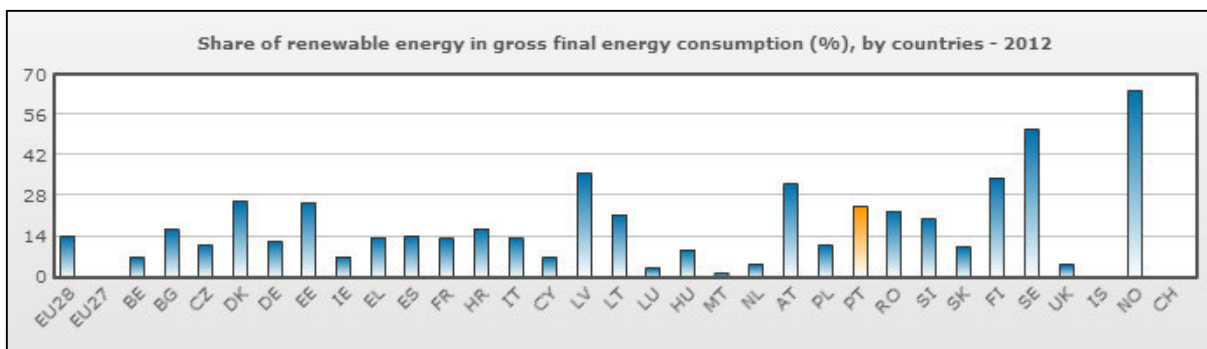


Fig. 2.7. Percentagem de energias renováveis no consumo bruto final de energia (Commission, E., 2014h)

2.2.1. Quadro de 2020

O programa 2020 referente ao clima e à energia consiste numa legislação que garanta o cumprimento dos objetivos Europeus, também conhecido como “20-20-20” devido ao facto de ter os seguintes objetivos (Commission, E., 2014a): reduzir, comparativamente a 1990, as emissões de gases de efeito estufa; aumentar a produção de energia renovável em 20%; e um aumento de eficiência energética, também de 20%. A União Europeia compromete-se, contudo, a aumentar a percentagem da redução das emissões para 30%, caso outras economias de grande escala se comprometam a reduzir as suas emissões. Este aumento foi estudado tendo em conta o problema de “carbon leakage” (que será explicado mais a frente).

Os objetivos de “20-20-20” levaram a que a União Europeia se torna-se mais competitiva e energeticamente segura. Para conseguirem atingir estes objetivos, no âmbito deste programa, foram criadas legislações complementares que pretendem abranger:

- Uma reforma do sistema de comércio de emissões da União Europeia (EU ETS), sendo que este é um dos elementos chave para a redução das emissões das indústrias, esta reforma tem o intuito de tornar ainda mais sólida a legislação que cobre este sistema;
- Os objetivos nacionais para as emissões que não são abrangidas pela EU ETS, tais como a habitação, agricultura, lixo e transporte não incluído a aviação. Estes sectores representam para a União Europeia cerca de 60% das suas emissões e têm sido alvo de grande preocupação para os estados membros, foram então definidas metas que cobrem o período de 2013-2020;
- Os objetivos nacionais para as energias renováveis. Os Estados Membros têm-se esforçado ao máximo para aumentar a percentagem de energias renováveis e tornarem-se menos dependentes da importação de energia. Para tal criaram metas que os irão levar a um aumento de 20% destas no ano de 2020 assim como no sector do transporte irão aumentar o uso de energias renováveis em 10%;
- A captura e aprovisionamento de carbono, que leva a necessidade de criar um quadro jurídico para este tipo de tecnologia. Este sistema leva a captação do dióxido de carbono resultante dos processos industriais e armazena-lo em formações geológicas subterrâneas de modo a não contribuir para o aquecimento global (Commission, E., 2014d).

O sucesso destas medidas começa já a ser visível, enquanto o produto interno bruto da união europeia cresceu entre 1990 e 2011 cerca de 45%, as emissões de gases de efeito estufa dos 28 estados membros diminuí cerca de 16,9 abaixo dos valores de 1990. As projeções dos estados membros admitem que em 2020 as emissões, incluindo a aviação, serão inferiores às de 1990 em cerca de 21%.

É importante compreender ainda a posição do protocolo de Quioto, nesta fase decorre o segundo período que abrange os anos de 2013 a 2020, mas difere em muitas circunstâncias do compromisso 2020. Para

iniciar é preciso entender que ao contrário do compromisso de 2020 que apenas requer que estes sejam atingidos nesse ano, o protocolo de Quioto requer que os valores das emissões se mantenham em média 20% abaixo do ano base. Possui uma abrangência superior ao compromisso de 2020 cobrindo ramos como o uso do território, alterações ao uso do território e silvicultura, contudo não abrange o sector da aviação. A União Europeia terá de apresentar os resultados conjuntamente com a Islândia.

2.2.2. QUADRO DE 2030 PARA AS POLÍTICAS ENERGÉTICAS E DO CLIMA

A intenção deste quadro, concebido em janeiro de 2014, é tornar o sistema energético da União Europeia, competitivo, seguro e sustentável, garantindo que este se encontra ao alcance de todos os consumidores, de modo a aumentar a segurança no abastecimento energético reduzir a dependência energética, promovendo uma maior oportunidade de crescimento assim como a possibilidade de criação de postos de emprego(Commission, E., 2014b, Commission, E., 2014i). Para deste modo a atingirem os objetivo do quadro de 2050. Tem também o intuito de garantir a segurança regulamentar de modo a ganhar a confiança dos investidores e coordenar a abordagem entre os estados membros.

Os pontos de incidência deste quadro são a redução das emissões de gases de efeito estufa e um aumento do uso de energias renováveis. Assim sendo o limite imposto para o primeiro ponto é de 40% abaixo dos valores de 1990, este leva, ainda, à possibilidade de se iniciar em as negociações de um novo acordo mundial para o clima em 2020. Se compararmos os resultados em 2005 (), dos sectores cobertos pelo sistema de comércio de emissões da UE, com o objetivo para 2030, compreender-se-á que para que tal ocorra a UE terá de se reduzir em 43% as suas emissões. Já os sectores que não se encontram abrangidas pela condição anterior terão de ficar 30% abaixo dos valores de 2005. O segundo ponto, referente às energias renováveis, aborda o seu aumento em cerca de 27%, com uma abordagem mais orientada para o comércio e para as tecnologias emergentes. A grande diferença na definição deste ponto quando comparado com outros deste quadro ou de outros quadros, é que não será realizada nenhuma legislação Europeia, ou seja não existem metas definidas por esta. Dão então a possibilidade a cada estado membro de definir as suas próprias metas segundo as preferências e circunstâncias de cada um.

Este Quadro define ainda uma reforma no ETS para o período a começar em 2021, propondo a criação de uma reserva de estabilidade do mercado, que tem como intuito conter as licenças de emissões excedentes dos anos anteriores assim como a resistência a imprevistos, ajustando automaticamente as reservas para serem leiloadas.

Relativamente ao sistema de governação, o quadro definiu a necessidade de planos nacionais para uma energia competitiva, segura e sustentável. Assim com as diretivas que serão definidas pela comissão Europeia, os estados membros criaram os seus planos conjuntamente de modo a garantir segurança aos investidores assim como a coerência e transparência destes.

O Quadro de 2030 é acompanhado de um relatório sobre os preços e custos da energia que analisa e compara, na União Europeia, com os fatores de evolução assim como os preços dos seus parceiros comerciais mais importantes. Os preços da energia têm aumentado, contudo este pode ser diminuído com recurso a políticas que possuam uma boa relação custo/eficácia, por mercados competitivos e pela utilização de tecnologias energeticamente mais eficientes.

A próxima reunião do Conselho Europeu para analisar os progressos e as propostas será entre 26-27 Junho 2014.

2.2.3. QUADRO DE 2050

Sendo o quadro mais distante é o que impõe regras mais restritas, sendo que o objetivo da EU relativamente às reduções das GEE para esta data é de 80 a 95% relativamente a 1990, para tal foi elaborado um guia para desenvolver uma economia de baixo carbono. Para cumprir a intenção de manter o aquecimento global abaixo 2°C quando comparado com a temperatura do tempo pré-industrial, as maiores economias terão de fazer um grande esforço para reduzirem as suas emissões. Este guia tem então o intuito de manter a EU no caminho certo para o cumprimento dos seus objetivos e utilizar os seus recursos de uma forma sustentável, sendo por isso um plano político de longo prazo (Commission, E., 2014j)

O plano de redução admite que a diminuição de 80% das emissões poderá ser atingida apenas através de reduções domésticas. Mostra também quais são as possibilidades de redução para os diferentes sectores de modo economicamente mais eficiente, como é possível visualizar no seguinte quadro.

Quadro 2.2. Redução de emissões por sector (Commission, E., 2014k)

Reduções de GEE relativamente a 1990	2005	2030	2050
Sectores			
Energia (CO2)	-7%	-54 a -68%	-93 a 99%
Industria (CO2)	-20%	-34 a -40%	-83 a -87%
Transporte (incl. CO2 da aviação e exclui o marítimo)	+30%	+20 a -9%	-54 a -67%
Residencial e serviços (CO2)	-12%	-37 a -53%	-88 a -91%
Agricultura (não-CO2)	-20%	-36 a -37%	-42 a -49%
Outras emissões de não-CO2	-30%	-72 a -73%	-70 a -78%
Total	-7%	-40 a -44%	-79 a -82%

A redução do consumo de recursos como combustível, gás, materiais em bruto, terreno e água, são um dos grandes objetivos da Europa e a utilização das novas tecnologias permitem atingi-lo.

Para fazer a transição para uma economia sem carbono ou de baixo carbono a Europa necessitaria de um investimento de 270 biliões de euros ou de 1,5% do produto interno bruto anual, em média, dos próximos quatro anos. Este investimento faria crescer a Europa ao nível que estava antes da crise, criando postos de trabalho, e cresceria ainda mais com o desenvolvimento das empresas.

Comparativamente a 2005 a UE poderá utilizar menos 30% de energia em 2050 e se caso for utilizada mais energia produzida por estes, principalmente energias renováveis, não estariam sujeitos às variações do preço do combustível de tal modo que pouparia cerca 175 a 320 biliões de euros nos próximos 40 anos(Commission, E., 2014j). O facto de se tornar um ambiente despoluído levará à redução de doenças respiratórias e consequentemente uma poupança, até 2050, de 88 biliões de euros na saúde(Commission, E., 2014j).

2.3. METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DAS PEGADAS DE CARBONO

A perspectiva de rentabilizar os recursos de modo a tornarem-se mais eficientes e competitivos levou a que muitas empresas repensassem a sua posição perante os impactes que se encontram conectados as respetivas atividades. Para tal, começaram a desenvolver-se métodos e normas que têm como intuito a medição da pegada de carbono das instituições assim como de produtos ou até mesmo projetos. De uma forma geral, o cálculo desta baseia-se na determinação das emissões de GEE que se encontram relacionadas com as várias atividades.

As normas foram divididas em dois tipos, sendo que uma se encontra mais vocacionada para as organizações, normas corporativas, e a outra se tenha especializado em produtos, normas de produtos, apresentando-se de seguida alguns exemplos:

- Normas do Produto:
 - ✓ PAS 2050;
 - ✓ BP-X-30-323;
 - ✓ GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard;
 - ✓ European Product Environmental Footprint;
 - ✓ ISO 14067.
- Normas Corporativas:
 - ✓ GHG Protocol Corporate Standard;
 - ✓ ISO 14064;
 - ✓ ADEME Bilan Carbone;
 - ✓ ENCORD;
 - ✓ European Organisation Environmental Footprint.

Quadro 2.3. Normas Corporativas (DFI/EFFC/Carbon4, 2013)

Normas Corporativas	GHG Protocol Corporate	ISO 14064	Bilan Carbone	ENCORD	DG Env Corporate Footprint
Sector de Atividade	Todos	Todos	Todos	Construção	Todos
Zona Geográfica Coberta	Todo Mundo	Todo Mundo	França	Europa	Europa
Categorias de Impacto	Alterações Climáticas	Alterações Climáticas	Alterações Climáticas	Alterações Climáticas	14 indicadores de LCA ⁽¹⁾
GEE Abrangidos	Seis substâncias inseridas no protocolo de Kyoto	Seis substâncias inseridas no protocolo de Kyoto	Todos os GEE	Seis substâncias inseridas no protocolo de Kyoto	Todos os GEE

⁽¹⁾ LCA “life cycle analysis” - análise do ciclo de vida

Quadro 2.4. Normas de Produtos (DFI/EFEC/Carbon4, 2013)

Normas de Produtos	PAS 2050	BP-X-30-323	GHG Protocol Product	DG Env Product Environmental Footprint	ISO 14067
Sector de Atividade	Todos	Todos	Todos	Construção	Todos
Zona Geográfica Coberta	Reino Unido	França	Todo Mundo	Europa	Todo Mundo
Categorias de Impacto	Alterações Climáticas	Alterações Climáticas; Biodiversidade; Uso do Território; Água	Alterações Climáticas	14 indicadores de LCA	Alterações Climáticas
GEE Abrangidos	Todos os GEE	Todos os GEE	Todos os GEE	Todos os GEE	Todos os GEE

Na realidade todas estas metodologias seguem o mesmo princípio conhecido como princípio de cálculo da pegada de carbono que se baseia na multiplicação dos dados das atividades por um fator de emissão (Fig. 2.8) que converte as emissões de uma determinada atividade em toneladas equivalentes de dióxido de carbono, tendo em consideração a sua capacidade de aquecimento global.

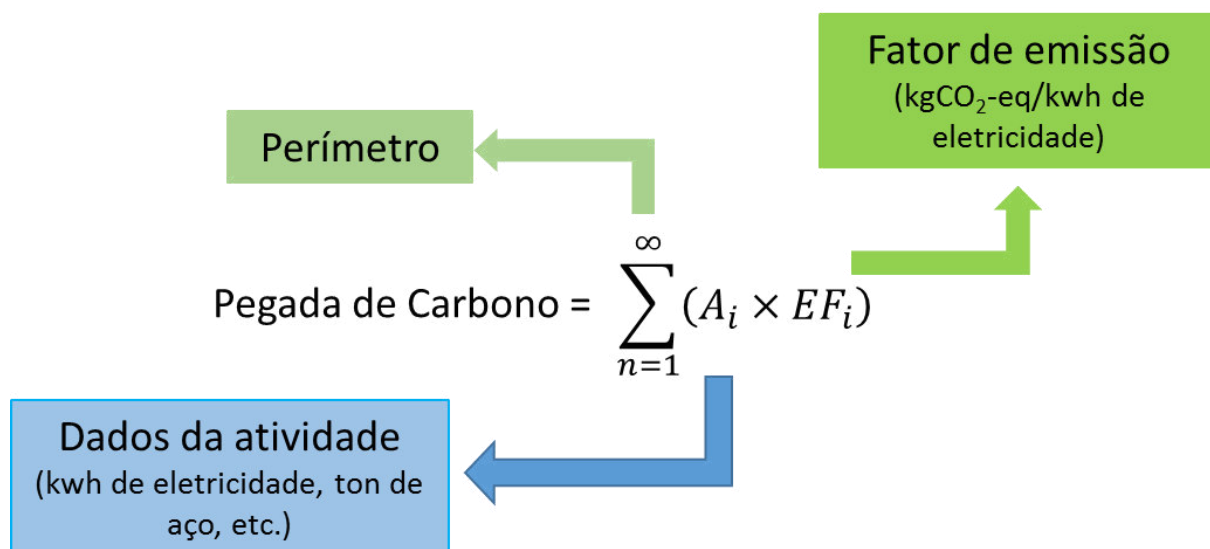


Fig. 2.8. Princípio do Cálculo da Pegada de Carbono (Rosa, I. [et al.], 2014)

Em particular na calculadora de carbono em estudo, o objetivo para além de incluir na análise todas as fontes de emissão, foi também de utilizar diferentes métodos de abordagem de modo a reduzir a carga de trabalho e concentrar na diferenciação das fontes de emissões (DFI/EFFC/Carbon4, 2013)

Assim surgiram as calculadoras de carbono que consistem em métodos de cálculo para quantificar as emissões de CO₂e de um determinado procedimento. Por exemplo, na área da construção este método tem em conta todo o processo construtivo. A calculadora de carbono vai permitir às empresas otimizar os seus procedimentos, equipamentos, métodos de forma a corresponder às exigências dos governos.

2.4. AS CALCULADORAS DE CARBONO EXISTENTES NO SECTOR DA CONSTRUÇÃO

Na área da construção existem várias calculadoras que utilizam bases de dados, na sua maioria, nacionais ou até mesmo regionais, para vários parâmetros distintos. Este fator leva a uma dificuldade acrescida na comparação de obras, até mesmo quando se trata especificamente do mesmo tipo de estrutura. As mais conhecidas serão abordadas sucintamente neste subcapítulo.

2.4.1. PCC (BAM)

Esta calculadora de carbono é utilizada para a construção, sem focar nenhum tipo de estrutura, e utiliza como programa base para o cálculo o Microsoft Access®. A principal matéria que analisa, mas não compara, é a quantidade de betão e mesmo esta apenas com a possibilidade de pequenos intervalos de variação.

Existem dois pequenos inconvenientes nesta aplicação, o primeiro mais fácil de resolver é a falta de meios para uma comparação no próprio programa, obrigando o utilizador a um maior dispêndio de tempo, o segundo problema consiste na atualização da base de dados, que pode ser tão complexa que exija o auxílio de uma equipa de consultores.

2.4.2. GREEN SIESTA (BALFOUR BEATTY)

É um sistema de simples utilização e é específico para fundações profundas simples. Possui o mesmo inconveniente que o PCC quanto à base de dados, foca-se essencialmente na Grã-Bretanha, ou seja adotando as suas leis e regras construtivas, não pode ainda ser utilizado por um utilizador externo, ou seja não é disponibilizado fora do grupo.

2.4.3. BACHY SOLETANCHE CARBON CALCULATOR

Fácil de utilizar esta calculadora tem como programa base o Microsoft Excel® e apesar de ter sido criada pela Biomass Suppliers List lauchand (BSL) pode ser utilizada por um utilizador externo, contudo é focada apenas para a Inglaterra, ou seja regras e leis Inglesas.

Ao contrário das calculadoras anteriores os fatores de emissão são de fácil identificação de tal modo que não será necessário a contratação de uma equipa de consultores para a sua atualização.

A grande desvantagem desta ferramenta, para além de apenas ser focado num único país, é não cobrir todas as atividades previstas na calculadora da European Federation of Foundation Contractors (EFFC).

2.4.4. PRISM (SOLETANCHE BACHY)

Esta calculadora é focada nas fundações, sendo internacional e multicritério consegue cobrir todas as atividades da EFFC, como a ferramenta anterior, é facilmente atualizada até porque tem como base de programação o Excel®.

2.4.5. KELLER CALCULATOR

É uma calculadora simples e transparente onde é fácil de detetar as fontes de informação, os fatores de emissão e os resultados obtidos, e tem como base de programação o Microsoft Excel®. Pode ser utilizado por agentes externos e é fácil de atualizar, cobrindo ainda várias técnicas e expondo os resultados numa única folha do Excel®.

2.4.6. CEMENTATION SKANSKA CALCULATOR

É uma ferramenta feita em específico para os equipamentos da Skanska, não sendo portanto permitida a utilização por parte de um operador externo. Sendo de fácil utilização é aplicado apenas as seguintes técnicas:

- Estacas moldadas “à rotação”;
- Estacas com trado contínuo;
- Estacas de deslocamento;
- Paredes moldadas;
- Micro estacas;
- Pregagens;
- Ancoragens;
- Injeções de permeação.

2.4.7. TATA STEEL/BCSA CARBON CALCULATOR

Como o próprio nome menciona, esta calculadora é voltada para o aço/ betão para pontes, tem como base de programação o Microsoft Excel®, contudo esta não abrange todas as técnicas do EFFC.

2.4.8. ENVIRONMENT AGENCY (UK) CARBON CALCULATOR

Calculadora orientada para a construção abrange muitos materiais mas poucos são relativos a fundações, tem como base o Microsoft Excel®.

2.4.9. COMPARAÇÃO DAS CALCULADORAS

De seguida será realizada uma comparação entre as diferentes calculadoras mencionadas, sendo que o Quadro 2.5 demonstra resumidamente a informação lida anteriormente.

Quadro 2.5. Comparação entre as Calculadoras de Carbono

	PCC	Green Sista	Bachy Soletanche Carbon Calculator	Prism	Keller calculator	Cementation Skanska calculator	Tata Steel/BCSA Carbon calculator	Environment Agency (UK) Carbon calculator
Programação	Microsoft Access		Microsoft Excel®	Microsoft Excel®	Microsoft Excel®		Microsoft Excel®	Microsoft Excel®
Atualização através consultores	X	X						
Facilidade de utilização			X	X	X	X		
Não utilizado por consultores externos		X				X		
Não se aplica a todas actividades EFC		X	X		X		X	
Relativo a fundações		X		X		X		

Quadro 2.6. Guia de Utilização (DFI/EFCC/Carbon4, 2013)

Legenda

	Fonte tida em consideração na ferramenta							
	Fonte não tida em consideração na obra							
	PCC	Green Siesta	BSL	Prism	Keller	Skanska	Tata Steel – BCSA Carbon calculator	Environment Agency (UK) Carbon calculator
Energia								
Materiais								
Transporte de pessoas								
Transporte (materiais)								
Transporte (equipamentos)								
Fabrico de Equipamentos								
Lixo (transporte)								
Lixo (tratamento)								

Apesar de todas as diferenças entre as várias calculadoras, existem também algumas semelhanças entre elas, sendo assim mais ou menos comparáveis. As duas maiores diferenças, como é possível visualizar no Quadro 2.6, são o facto de nem todas avaliarem os mesmos pontos e o facto de utilizadores nem sempre terem a composição detalhada do betão ou até mesmo as emissões dos materiais.

No quadro seguinte será possível analisar, para cada calculadora, qual a base de dados utilizada para o cálculo.

Quadro 2.7. Método/Referências e Base de Dados (DFI/EFEC/Carbon4, 2013)

	Método/Norma de Referência	Base de dados dos fatores de emissão
PCC	GHG Protocol	Vários
Green Siesta	GHG Protocol	Vários
BSL	PAS 2050	BATH inventory of Carbon Energy Sustainable Concrete
Prism	ISO 14040/44/64 GHG Protocol PAS 2050 Bilan Carbon NF EN 15804	EcolInvent Ademe Base Carbone Base de donnée interne VINCI
Keller	ISO 14040 ISSO 14044	GEMIS (Europa Central & Asia) ADEME (França & Espanha) DEFRA (GB)
Skanska		ICE DEFRA GHG Protocol Carbon Trust & BATH
Tata steel – BCSA Carbon calculator		Atkins remediation options carbon calculator DMRB 2007 Sustainable concrete British Constructional Steel Associatio BS EN 206-1 DEFRA 2009 Environment agency ICE
Environment Agency (UK) Carbon calculator		ICE University of Bath AggRegin Mineral Products Association Jacob UK calculation Sustainable concrete DEFRA (2011) BMAPA

2.5. O PORQUÊ DA CALCULADORA DE CARBONO

O crescimento global é evidente e o desenvolvimento da indústria evolui com este, deste modo cresce a preocupação de todo o impacte ambiental provocado por esta evolução. Esta preocupação advém de um aumento crescente do uso de energia e logo das emissões de gases de efeito estufa. Como já foi referido no ponto 2.1, o seu crescimento tem-se tornado preocupante, representado por um aumento de 61% desde 2009 a 2013 e por um aumento gradual da temperatura. Este complexo problema levou a que as entidades comesçassem a refletir nas suas atitudes perante o ambiente, conduzindo à necessidade de determinar qual a sua pegada ecológica através da criação das calculadoras de carbono. Daí a existência de diversas calculadoras de carbono criadas à medida de cada setor, ou seja com diferentes critérios, que as tornaram muito difíceis de comparar, sendo então necessária a criação de uma que abranja a maior parte das atividades da obra, com critérios bem definidos, para uniformizar e fidelizar esta avaliação.

A pressão colocada pelo governo e pelos ambientalistas, preocupados com o futuro do planeta, levou à criação de protocolos e leis que limitassem a produção de CO₂, materializando a realidade deste problema na vida das entidades, acelerando assim o processo de reestruturação destas.

Este processo permitiu às entidades a otimização e valorização do seu trabalho, possibilitando a comparação dos diversos tipos de métodos construtivos, das emissões de cada um, da contribuição de cada fonte, e mesmo do preço operacional. A análise de cada fonte possibilita uma seleção criteriosa dos materiais e equipamentos, tornando-se por isso num forte argumento comercial pois possibilita aos compradores do serviço, uma avaliação e decisão mais consciente que se pode refletir no preço. Por exemplo em projetos com valores de execução aproximados as emissões podem determinar a escolha do método.

Mas não é o único aspeto positivo, esta preocupação sobre o futuro do planeta é um ponto positivo para a empresa podendo leva-la a ser escolhida em detrimento de outra cuja preocupação é nula. O ajuste a soluções ambientalmente mais amigáveis, podem assim corresponder às necessidades, neste domínio, do dono de obra.

2.6. O MERCADO DAS LICENÇAS DE CARBONO

A contribuição dos GEE antropogénicos para a degradação climatérica é extremamente importante sendo que há muito são discutidos métodos de controlo que consigam diminuir a libertação destes. Um método eficaz seria atribuir um valor económico ao CO₂e, para que este fosse finalmente visto como um método de poupança ou ganho de dinheiro e assim estimular as empresas a controlarem as suas emissões. A Europa decidiu então criar um comércio Europeu de licenças de emissão de gases com efeito estufa, que vai de encontro aos desígnios do Protocolo de Quioto que pretendia um comércio internacional de emissões. A inclusão nas licenças de GEE das licenças que se baseavam nos mecanismos do Protocolo de Quioto gerou um aumento da eficácia económica do mercado Europeu.

Em Portugal a Comissão para as Alterações Climáticas (CAC) foi criada para elaborar a estratégia nacional para as alterações climáticas assim como para acompanhar todas as decisões políticas e medidas nacionais e internacionais. O Programa Nacional para as alterações climáticas (PNAC), que tem como intuito, o controlo das emissões de GEE nacionais, confirmou o compromisso de Portugal de ratificar o Protocolo de Quioto e baixar as emissões a 27%. Assim, para concretizar estes objetivos Portugal terá de baixar 16 Mt a 21 Mt de CO₂equivalente. O PNAC possui medidas que levam a uma redução de 16,8 MtCO₂e, contudo mantem-se a necessidade de uma redução complementar de 5,6 MtCO₂e (Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2004). Esta redução terá então que ser obtida através dos mecanismos do Protocolo de Quioto assim como com o mercado de licenças de emissão de GEE.

O comércio Europeu de licenças foi lançado em 2005 sendo a primeira medida do seu gênero a ser lançada. Este comércio encontra-se neste momento dividido em três fases: primeira fase de 2005 a 2007, segunda fase de 2008 a 2012 (Quadro 2.8) e a terceira fase será a referente a 2013 a 2020.

Quadro 2.8. Diferenças entre a Fase 1 e a Fase 2

Fase 1: 2005-2007	Fase 2: 2008-2012
<ul style="list-style-type: none"> • Fase piloto (em que países); • Contabilização apenas do CO₂ emitidos por centrais de energia; • Licenças distribuídas de forma gratuita; • Multa de não-cumprimento era de 40€ por tonelada; • Estabelecer o preço de carbono; • Criação de infraestrutura necessária para a monitorização 	<ul style="list-style-type: none"> • Inclusão de Islândia, Liechtenstein e Noruega; • Inclusão de Óxido Nitroso proveniente do ácido nítrico; • Redução para 90% das licenças cedidas gratuitamente; • Multa de não-cumprimento passou para 100€ por tonelada; • Realização de leilões; • Autorização de compra de CDM⁴ e créditos de JI⁵ perfazendo 1.4 bilhões de toneladas de CO₂e.

É então importante entender em que consistem as licenças de emissão, cada uma destas permite a emissão de uma tonelada de carbono equivalente durante um determinado período de tempo (Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2004).

Apesar das várias tentativas de estabelecer um preço para o carbono, ainda não foi possível encontrar um valor verdadeiramente concreto, na primeira fase apesar da grande procura das licenças, a oferta manteve-se sempre acima desta, fazendo com que em 2007 o preço das licenças fosse 0€. A segunda fase ocorreu ao mesmo tempo que o compromisso com o Protocolo de Quioto exigia a determinação dos objetivos dos estados membros, contudo nem este fator ajudou à determinação do preço.

⁴ CDM é o diminutivo para *Clean Development Mechanism*, este mecanismo de desenvolvimento encontra-se definido no protocolo de Quioto e tem como intuito permitir os países, que se encontram restringidos pelo mesmo protocolo a uma limitação ou redução das emissões, a implementação em países em desenvolvimento de projeto de redução de emissões. Estes projetos podem levar à aquisição de certificados de emissão que podem ser vendidos, e que equivalem a uma tonelada de dióxido de carbono sendo tidos em consideração no cumprimento dos objetivos do Protocolo de Quioto. Este mecanismo potencia o desenvolvimento sustentável assim como a redução das emissões e ao mesmo tempo permite alguma flexibilidade, aos países industrializados, na forma como estes atingem os seus objetivos de limitação e redução United Nations Framework Convention on Climate Change - Clean Development Mechanism (CDM). 2014a. Disponível em WWW: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/clean_development_mechanism/items/2718.php>. ..

⁵ JI é a sigla referente a *joint implementation* que é definido no protocolo de Quioto e que permite aos países que se comprometeram a uma redução ou limitação das emissões através deste protocolo, a ganharem unidades de redução das emissões através de projetos em outros países, cada unidade equivale a uma tonelada de dióxido de carbono, que pode ser utilizada para alcançar os seus objetivos de Quioto. Esta implementação permite uma flexibilidade e eficiência nos custos dos meios necessários para atingir os seus compromissos com o protocolo de Quioto, permitindo também aos outros países benefício de investimento exterior e transferência de tecnologias United Nations Framework Convention on Climate Change - Joint Implementation (JI). 2014b. Disponível em WWW: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/joint_implementation/items/1674.php>. .

Considerando os maus resultados obtidos na primeira fase a Comissão Europeia reduziu o volume de emissão de licenças em cerca de 6.5% quando comparado com as produzidas em 2005, mas mais uma vez não foi o suficiente, pois a crise económica que surgiu levou a uma diminuição das emissões. Deste modo a segunda fase acabou por ter também um excesso de licenças.

Para a angariação das licenças foi criado um sistema denominado “cap and trade” (Commission, E., 2014g) em que cap (Commission, E., 2014f) significa limite, ou seja esta denominação refere-se ao número de licenças que podem ser emitidas e trocadas, quer tenham sido compradas ou recebidas gratuitamente, conforme as necessidades das entidades. Por exemplo, caso uma empresa receba mais licenças do que realmente precisa, pode guarda-las para futuras necessidades ou vende-las.

Contudo deve-se referir que nem todas as empresas estão sujeitas à obrigação de obtenção de licenças, pois o Governo tem a possibilidade de isentar certas empresas de pequenas dimensões através da substituição destas por medidas fiscais ou outras que levem à diminuição das respetivas emissões.

Cada licença permite ao seu proprietário a produção de uma tonelada de CO₂, ou o equivalente em óxido nítrico ou perfluorcarbonetos (HFC que foram utilizados em detrimento dos clorofluorcarbonetos mais conhecidos pela sua sigla CFCs) que apenas pode ser utilizada uma única vez. Assim uma empresa à qual foram fornecidas licenças de modo gratuito, mas que não sejam em quantidade suficiente, terá de comprar mais licenças ou mesmo créditos de projetos, previamente aprovados, que tenham o intuito de diminuir as emissões, em qualquer parte do mundo. Estes projetos demonstram também, aos países recetores quais os benefícios da mitigação das próprias emissões. Deste modo cada empresa pode escolher que tipo de situação se adequa melhor às suas intenções, se pretende investir em equipamento mais eficientes, comprar licenças ou créditos ou uma combinação dos dois.

As licenças devem ser em número suficiente de modo a cobrir as emissões do ano anterior, podendo incorrer em uma multa de 100€ de acordo com o artigo 25 do Decreto-Lei n.º 38/2013 (Ministério da Agricultura do Mar do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2013).

Antes de esclarecer o funcionamento dos leilões de licenças ou mesmo a sua atribuição gratuita, convém esclarecer o significado de “Carbon Leakage”(Commission, E., 2014e). Para que o intuito das licenças seja o controlo da libertação de gases de efeito estufa na UE deve-se atender ao funcionamento do mercado, que para certos sectores em que a localização não tem importância, leva ao seu deslocamento para fora da UE dado a existência de gastos extra que não se encontram noutros locais. Ao fator anteriormente mencionado dá-se o nome de “Carbon leakage” e encontram-se nestas condições os sectores ou subsectores que através da aplicação da diretiva fiquem expostos a um aumento do custo de produção, calculado com base no valor bruto de pelo menos 5% e ainda os que as importações e exportações do sector com países que não pertençam a UE sejam superior a 10%. Encontram-se também expostos os sectores nos quais a soma do custo direto e indireto seja de pelo menos 30% ou a troca entre produtos que não pertençam a UE seja abaixo de 30%.

Existem outros países com interesse neste comércio, sendo que a União Europeia e a Austrália encontram-se em negociações para que se o possa estender este comércio a esta, estando prevista para 2018, uma ligação entre o sistema de comércio Europeu com o de Austrália. Assim como esta também a Suíça se encontra em negociações para juntar o seu comércio, que ainda está em fase de criação, com o Europeu. Para além destes existem outros mercados no Japão, Nova Zelândia, Estados Unidos e encontram-se a ser planeados na China e Coreia do Sul.

Como já foi referido ao longo deste capítulo a existência da crise que leva a uma redução de emissões e consequentemente a uma não obtenção do preço do carbono, faz com que o risco de “Carbon Leakage” seja mais reduzido.

Assim sendo pode-se passar à definição de “benchmarks” (Commission, E., 2014e) que se refere ao valor utilizado para determinar o número de licenças distribuídas gratuitamente por instalação. Este valor é definido por produto, ou seja dentro do mesmo sector que produz um determinado produto, qual dos processos de produção é o mais eficiente na limitação da libertação de GEEs, sendo que 10% das entidades com a melhor performance irá receber licenças de modo gratuito. O princípio assenta então no teorema “one product = one benchmark”, não interessando assim meios tecnológicos, combustíveis, dimensões da empresa ou a sua localização geográfica.

As restantes indústrias, ou mesmo estas, se as licenças distribuídas gratuitamente não forem suficientes, terão de recorrer aos leilões de licenças. Estes leilões são dirigidos pela regulação de leilões da EU (ETS), que têm o intuito de os manter claros e equitativos. Existem já duas plataformas, uma mais utilizada pelo Reino Unido, a ICE Futures Europe (ICE), e a segunda à qual recorrem a maior parte dos restantes países envolvidos neste processo, a European Energy Exchange (EEX). Contudo, a intenção será a criação de uma única plataforma para todos os países membros, que seja ainda mais transparente, de modo a reduzir o risco de abusos. Atualmente existe um único registo da EU que se encontra a cargo da comissão europeia e que transfere para si todos os documentos existentes nos registos nacionais, abrangendo assim os 31 países. Este registo contém informações sobre as instalações que se encontram sobre a alçada destas medidas assim como a possível existência de licenças cedidas gratuitamente, as transferências das licenças, as respetivas emissões de CO₂ assim como a contabilização do número de licenças entregues tendo em conta as emissões de cada um. Assim a “European Union Transaction Log (EUTL) terá a seu cargo verificar, controlar, autorizar e atualizar todas as transações entre os 31 países constituintes do Registo EU.

Existe uma divisão na distribuição de licenças para leilão nos estados que integram este processo, sendo que apenas 88% serão distribuídas por todos os países da EU, tendo por base a parcela de emissões verificada em 2005. De forma a motivar os países com a pior performance irão ser distribuídos, para além da sua parte nos 88%, 10% adicionais. Ficando apenas a sobrar 2%, estes serão também um bônus, mas neste caso para os países que conseguiram diminuir as suas emissões em pelo menos 20% dos valores determinados para a data nos seus Protocolos de Quioto (Commission, E., 2014c). Os países da EEA-EFTA terão também limitações no número de licenças disponíveis. Em 2020 a quantidade de licenças distribuída gratuitamente terá de ser extinta.

A Fig. 2.9 apresenta a evolução do mercado ao longo dos anos contabilizando a alteração do tipo de obtenção de licenças, assim como o aumento da sua procura.

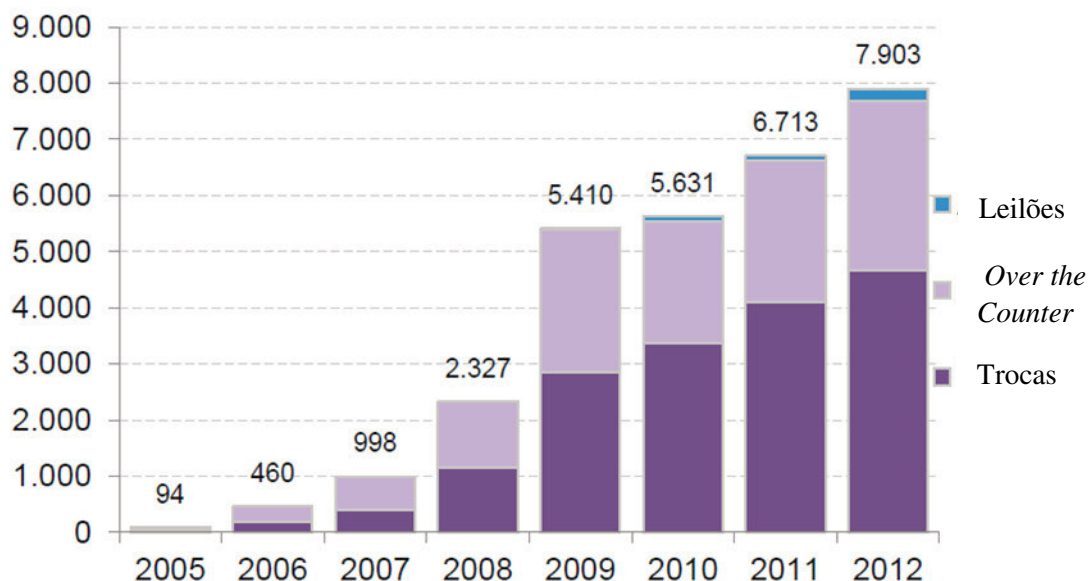


Fig. 2.9. Volume de Trocas das Licenças de Emissão na EU em milhões de toneladas (Commission, E., 2013) – *Over the Counter* é um sistema de transição de ações em bolsa com recurso a um corretor de bolsa

Os valores monetários obtidos através dos leilões das licenças, ou pelo menos metade desses valores, reverterão para o combate climático na Europa ou noutros países. A grande exigência da EU ETS é relativa à criação, por cada empresa abrangida pelo sistema, de um plano de monitorização aprovado por estes, este plano tem o intuito de controlar e reportar as emissões anuais.

Em Portugal a responsabilidade de atribuição ou anulação das licenças de emissão recai sobre a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA,I.P.) esta segundo o decreto-lei n.º 38/2013 (Ministério da Agricultura do Mar do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2013), deve “avaliar o montante preliminar de licenças e atribuir gratuitamente a novas instalações ou a alterações significativas da capacidade”, “conceder as licenças de emissão gratuitas”, “avaliar o relatório de emissões da instalação apresentado anualmente pelo operador”, fica também responsável, como administrador nacional de “assegurar a gestão das contas nacionais no Registo Português de licenças de Emissão”, entre outras. Este documento refere ainda que as licenças emitidas gratuitamente devem diminuir de forma linear através de “um fator linear de 1,74% em comparação com a quantidade anual total média de licenças emitida pelos estados-membros”. Existem alguns pontos também de grande interesse ainda neste artigo (artigo 10.º) que referem o número de licenças que podem ser distribuídas gratuitamente em 2013, cerca de 80% do valor obtido anteriormente, sendo que deverá diminuir gradualmente até que chegue, em 2020, a 30% e que em 2027 seja nula. Ficando apenas isentas destes pontos as instalações que se encontrem em risco de fuga de carbono. É proibida a atribuição de licenças gratuitamente a produtores de eletricidade, a instalações de captura de CO₂, as condutas para transporte de CO₂ ou a locais de armazenamento.

O Artigo 17.º (Ministério da Agricultura do Mar do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2013) referente ao “Leilão de licenças de emissão” aborda a aplicação dos fundos obtidos através destes em Portugal. Como já foi mencionado anteriormente o destino dos fundos monetários obtidos deve ser utilizado para ajudar a melhorar todas as questões relativas as emissões, em Portugal as receitas relativas às “licenças de emissão equivalente ao valor móvel de 80% das emissões verificadas nos quatro anos

anteriores” devem ser aproveitadas para a compensação do sobrecurso total da produção, relativo á promoção de energias renováveis. As restantes receitas ou seja os restantes 20% são empregues da seguinte forma, 40% para o financiamento da política de mitigação das alterações climáticas, 30% para o financiamento da política de adaptação às alterações climáticas, 15% para os compromissos de Portugal com a Convenção Quadro das Nações Unidas e do Protocolo de Quioto, relativo as ações de mitigação, adaptação e capacitação em países terceiros 12%. Para projetos de investigação, desenvolvimento, inovação e demonstração para a redução de emissões de gases de efeito estufa e os restantes 3% reverterão para as despesas provenientes da aplicação do CELE (regime comunitário de comercio de licenças de gases com efeito estufa).

O período de validade das licenças é de 8 anos e a não entrega do número correto destas em cada ano leva, como já foi referido anteriormente, a uma caução, contudo esta não iliba a entrega das licenças em falta, que terão de ser entregues no ano subsequente juntamente com as licenças respetivas a esse ano.

2.7. CERTIFICAÇÃO DOS PROJETOS DE CONSTRUÇÃO/EDIFÍCIOS

Como resposta a grande necessidade das instituições em demonstrar a sua preocupação ambiental, foi necessário a criação de entidades de certificação, que as avaliassem e certificassem neste âmbito. Existem neste momento várias entidades que executam esta certificação, serão então aqui abordadas, algumas dessas empresas. É ainda relevante mencionar antes da apresentação, a importância destas no âmbito desta tese, ora a calculadora permite a determinação da libertação de CO₂e e este tipo de certificações têm como intuito avaliar o quão verde é o projeto. Deste modo uma das preocupações é provar que é um projeto de baixas emissões de carbono, a calculadora torna-se assim uma grande aliada.

2.7.1. BREEAM

Uma das entidades com a avaliação, considerada mais abrangente e com as medidas mais reconhecidas da performance ambiental de um edifício. Tem como intuito incentivar os projetistas, clientes entre outros a pensarem em projetos com pouco impacto ambiental e de baixo carbono, para deste modo a resposta à eficiência energética e ao baixo carbono não serem atingidos apenas através das tecnologias aplicadas ao edifício, mas sim aquando da criação deste.

As medidas para avaliar o desempenho de um edifício, utilizadas pela BREEAM, relativamente as suas especificações, designe, construção e uso, possuem uma ampla gama de critérios que incluem aspetos relacionados com a energia, uso de água, o ambiente interno, a poluição, o transporte, os materiais, lixo, ecologia assim como a gestão de processos.

Para a avaliação e atribuição da respetiva certificação, a BREEAM recorre a uma organização licenciada por estes, que utilizam assessores formados pela United Kingdom Accreditation Service (UKAS), para as várias etapas da vida de um edifício. O benefício de obter esta certificação passa, pelo reconhecimento do mercado de um edifício de baixo impacto ambiental, um certificado que demonstra o progresso da entidade relativamente aos objetivos corporativos e organizacionais do ambiente.

A BREEAM permite assim uma abordagem de questões ambientais e de sustentabilidade possibilitando aos designers e gestores de edifícios a apresentação aos seus clientes de um certificado ambiental. Esta usa um sistema de pontuação, integro, transparente, flexível e fácil de compreender que tem como base evidências científicas e de investigação, tendo uma influência positiva no designe, construção e gestão dos edifícios, assim como permite a definição e manutenção de robustos métodos técnicos com um rigoroso controlo da qualidade.

A BREEAM detém cerca de 250.000 edifícios com a sua certificação e cerca de um milhão de registos para avaliação, tudo isto desde que foi inicialmente lançada em 1990 (BREEAM, 2010).

2.7.2. LEED

A LEED, diminutivo para Leadership in Energy & Environmental Design, é também um programa de certificação para edifícios verdes que reconhece as boas estratégias e práticas na construção. Para se obter uma certificação emitida pela LEED os projetos de construção têm de satisfazer os pré-requisitos e ganhar pontos para atingir os diferentes níveis de certificação. Estes pré-requisitos e níveis diferem para cada sistema de classificação, e as equipas escolhem o melhor caminho para as suas empresas.

Em cada grupo do sistema de classificação é necessário atender às necessidades de cada tipo de construção e de cada tipo de projetos. Uma vez escolhido o tipo de sistema de classificação serão utilizados os diferentes créditos para guiar o design e as decisões operacionais. Existem cinco sistemas de classificação:

- Desenho do edifício e construção – aplicado a edifício em construção e a edifícios que estão a sofrer uma grande reabilitação;
- Desenho interior e construção- aplicado a edifícios cujo interior está concluído;
- Operações construtivas e manutenção – edifícios com pequenos trabalhos de melhoramento ou poucos até nenhum;
- Desenvolvimento da localidade – aplicado a projetos de urbanização, a desenvolver ou em redesenvolvimento com propósitos residenciais, não residenciais ou uma mistura de ambos e que se podem encontra-se em qualquer fase da obra desde o projeto até à sua construção;
- Casas – Abrange casas unifamiliares ou multifamiliares até aos seis pisos.

Para cada sistema de classificação é utilizado um conjunto de categorias de créditos. Em cada uma destas últimas existem pré-requisitos específicos que cada projeto deve satisfazer para assim ganharem pontos. Algumas das categorias são:

- Processo de integração;
- Localização e transportes;
- Materiais e recursos;
- Eficiência ao nível dos consumos de água;
- Energia e atmosfera;
- Locais sustentáveis;
- Qualidade do ambiente interior;
- Inovação;
- Créditos por importância da região;
- Localização inteligente e acessos;
- Modelo de vizinhança e desenho;
- Infraestruturas e edifícios verdes;

O número de pontos leva a colocação nos diferentes níveis da LEED. Existem quatro níveis, dos 40 aos 49 é certificado, dos 50 aos 59 é prata, dos 60 aos 79 é ouro e a partir dos 80 é platina (LEED, 2014).

2.7.3. A DGNB CERTIFICATION SYSTEM

Este sistema de certificação oferece uma descrição e avaliação objetiva da sustentabilidade do edifício e das urbanizações. A avaliação da qualidade é executada em todo o ciclo de vida do edifício. Esta classificação é aplicável internacionalmente. É flexível sendo possível a sua adaptação aos vários usos de um edifício assim como um possível ajustamento aos requerimentos específicos de cada país.

É constituída por 50 critérios que vão desde a qualidade ecológica das secções, economia, aspetos socioculturais, tecnologia, desenvolvimento do processo de trabalho e localização.

As avaliações são divididas em três tipos, bronze, prata e ouro, existe ainda a possibilidade de uma simples pré-certificação na fase de planeamento (DGNB System, 2014).

2.7.4. HQE™

A HQE™ é um Sistema de certificação fácil de compreender, com uma abordagem multi-criteriosa que reúne todas as partes interessadas de um projeto. Tem como critérios principais a eficiência energética, o respeito pelo ambiente, e o conforto e saúde dos seus utilizadores.

Esta certificação tem como princípios fundamentais, os objetivos dos donos de obra, nenhuma solução arquitetónica ou técnica será imposta e as equipas do projeto fazem as adaptações necessárias para se adequarem a cada situação, existe um apoio à gestão dos projetos de modo a que todos os intervenientes se envolvam para atingir as metas.

Este sistema foi criado com base científica e tecnológica e é fruto de uma longa investigação de consultadoria que envolveu a indústria da construção e proprietários. A avaliação é baseada num método recente que se enquadra nos indicadores internacionais como Sustainable Buildings Alliance, CEN TC 350, etc.

Um projeto para ser certificado pela HQE™ precisa de ter os requisitos mínimos como por exemplo a legislação construtiva de cada local. É flexível e adapta-se ao tipo e uso de cada edifício. A avaliação internacional da performance ambiental inclui: os requerimentos genéricos estabelecidos através de métodos internacionais e as melhores práticas, demonstração dos níveis de performance locais que permite a adaptação de alguns dos requerimentos para a certificação ao lugar, pois respeitam os fatores específicos de cada sítio.

A HQE™ é gerida pelo operador Gerway em todos os países exceto na França. Este operador contrata auditores independentes para o acompanhamento do desenvolvimento do projeto, sendo o único processo onde se verifica a independência da certificação. Este auditor terá de ser neutro e não pode dar conselhos ou treinar o requerente da certificação, garantindo assim a imparcialidade e a independência do requerente. Este tipo de supervisão é, de acordo com os rankings da ISO, uma das melhores

A auditoria do projeto é executada na presença das partes interessadas e é realizada no local, onde o auditor verificará a conformidade com os requisitos do sistema de certificação e as provas do cumprimento das metas de desempenho ambiental, por parte do proprietário do projeto e ainda o cumprimento dos requisitos da gestão de projetos. Uma das vantagens é que permite o envolvimento das partes interessadas no processo de certificação.

Este Sistema tem cerca de 230.000 projetos e mais de 36 milhões de m² certificados (HQE Certification, 2013).

2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo teve como intuito a realização do ponto de situação relativo aos problemas ambientais europeus e em específico portugueses, identificando os gases de efeito estufa que serão estudados, assim como explicar a sua evolução no tempo, até ao presente e os prognósticos para os anos vindouros. Apesar de considerar como GEE mais importante o CO₂, a avaliação das emissões não se prende apenas neste, mas sim ao conjunto de vários gases de efeito estufa específicos ao qual é dado o nome de CO₂e. Este não só permite facilitar o cálculo das emissões, como melhora a perceção dos analistas desta área. Tem ainda como intenção especificar as áreas que mais emitem estes tipos de gases de modo a se poderem especificar as técnicas de mitigação aos mais poluentes.

Após este ponto de situação, são explicadas as ações tomadas pela comunidade Europeia, para tal discriminaram-se as diretivas comunitárias que abordam esta problemática. As ações tomadas pela União Europeia (UE) pretendem dirigir o programa Europeu de alteração do clima, que causou a criação e aplicação de várias políticas, a criação de um mercado de licenças de emissões, a adoção de legislação que leve a um aumento da procura de energias renováveis, assim como a implementação de metas que pretendem aumentar a eficiência energética e a limitação das emissões dos transportes rodoviários. Por último, estas ações da UE levaram à criação e desenvolvimento de tecnologias de captação e armazenamento de CO₂. Para a aplicação destas ações foram criados objetivos bem definidos, que não só chegam a ser mais exigentes que o protocolo de Quioto como pretendem ajudar os países Europeus intervenientes a atingirem as metas estabelecidas neste protocolo. Foram para tal definidos três quadros, um para 2020, outro para 2030 e um último para 2050. Apesar dos primeiros a serem criados terem sido o 2020 e o 2050, o 2030 pretende fazer uma passagem entre estes dois. As exigências relativas às emissões são maiores quanto mais distante é o ano do quadro, sendo que para 2050 as intenções são de tornar a Europa energeticamente autossuficiente, através do aumento do uso das energias renováveis e diminuir ao máximo o uso de combustíveis fósseis.

Para se poder compreender o processo de cálculo da calculadora de carbono deve-se perceber a metodologia de determinação da pegada de carbono, esta é obtida através do somatório da multiplicação dos dados das atividades pelos respetivos fatores de emissão. Tendo isto em mente e antes de se passar à análise específica da calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4 foi necessário compreender as aplicações das restantes calculadoras, para se perceber o porquê da criação desta calculadora. Nem todas as calculadoras existentes no mercado se aplicam exclusivamente às fundações, algumas nem as analisam, mas o grande problema destas prende-se com o facto de não utilizarem a mesma base de dados e se adequarem por vezes à realidade da construção de um país específico. Estas especificações levaram à necessidade da criação de uma calculadora que fosse uniforme, aplicável para todos os países, com uma base de dados que permita a comparação dos valores obtidos em diferentes obras, de modo a se poderem procurar situações mais vantajosas quer na redução das emissões quer economicamente.

A criação de um mercado Europeu de licenças de CO₂e, permitiu tornar um problema ambiental num problema económico, para limitar as emissões levando à procura de tecnologias mais amigas do ambiente, este acontecimento conduziu a um maior interesse no seu estudo. As regras deste mercado são bem definidas e continuam a evoluir com o intuito de limitar ainda mais as emissões. As licenças comercializadas podem ser obtidas gratuitamente, compradas ou trocadas. O limite das licenças gratuitas tem diminuído progressivamente ao longo dos anos e não são distribuídas aleatoriamente, este valor é definido por produto, ou seja dentro do mesmo sector que produz um determinado produto, qual dos

processos de produção é o mais eficiente na limitação da libertação de GEEs, sendo que 10% das entidades com a melhor performance irá receber licenças de modo gratuito. As restantes indústrias, ou mesmo estas, se as licenças distribuídas gratuitamente não forem suficientes, terão de recorrer aos leilões de licenças. O intuito é que em 2020 estas licenças sejam extintas. No processo de solidificação das emissões houve tentativas para a especificação de um preço para o CO₂e contudo devido à crise as licenças tornaram-se excessivas perante a procura, tendo esta tentativa falhado. Contudo como o intuito é reduzir as quantidades de licenças emitidas irá ser reduzida levando a um aumento da sua procura e por sua vez à obtenção de um valor.

Outro aspeto de grande interesse e que leva ao debate da importância desta ferramenta é a existência de entidades de avaliação e classificação de edifícios quanto ao seu impacto ambiental. A procura destas avaliações provém da crescente importância de se ser “verde”, ou seja obter um edifício cuja construção e funcionamento seja amiga do ambiente, para se poder promover a entidade construtora ou dono de obra. Foram então analisadas as mais conhecidas, sendo estas a BREEAM, LEED, DGNB Certification System e a HQETM, todos possuem um processo de avaliação diferente assim como de classificação, sendo que, apesar de se considerarem abrangentes, na realidade são criadas com bases em critérios e legislações específicas de determinados países. Deve-se contudo mencionar o esforço destas em se tentarem adequar aos restantes países.

3

A CALCULADORA DE CARBONO DA EFFC/DFI/Carbone4

3.1. O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DA CALCULADORA, ENTIDADES ENVOLVIDAS

Com o intuito de criar um método consistente e comparável de cálculo da pegada de carbono dos projetos de índole geotécnica a European Federation of Foundation Contractors (EFFC) e a Deep Foundations Institute (DFI) em conjunto com a Carbone 4 desenvolveram um método de cálculo de carbono que levou à criação da “calculadora de carbono para obras geotécnicas”.

3.1.1. ENTIDADES ENVOLVIDAS

3.1.1.1. Deep Foundations Institute

A Deep Foundations Institute (DFI) é uma associação internacional, de construtores, engenheiros, fornecedores, académicos e proprietários na indústria de fundações profundas, sem fins lucrativos que foi criada em 1976 no estado de New Jersey. A DFI promove o avanço da indústria de fundações profundas, sendo que para tal possui mais de 3000 membros em todo o mundo.

A sua missão é reunir entidades e organizações multidisciplinares com interesses comuns e criar uma visão e consenso para o desenvolvimento contínuo da indústria de fundações profundas.

3.1.1.2. European Federation of Foundation Contractors

A European Federation of Foundation Contractors (EFFC) através dos seus diretores e coordenadores nacionais, da comissão executiva e dos grupos de trabalho, produzem documentos de orientação pormenorizada sobre temas relevantes para a indústria devido à resolução de disputas contratuais entre duas ou mais entidades entre outros. Uma das áreas em que se encontra envolvida refere-se à preparação dos códigos técnicos da UE para atividades geotécnicas e fundações especializadas.

Representa empresas em 17 países Europeus, sendo que estas consistem em construtores de todos os tipos de fundações e outros processos geotécnicos. As principais tarefas do grupo de trabalho de segurança da EFFC incluem o desenvolvimento e divulgação de métodos para melhorar a segurança e a proteção da saúde durante a execução de obras geotécnicas. A EFFC tem como objetivo promover interesses comuns entre os diferentes membros, melhorar as condições da mão-de-obra e manter padrões elevados de competência técnica, segurança e inovação em todo o setor. Tem ainda a intenção de expressar o ponto de vista dos seus associados à Comissão Europeia, aos governos nacionais, consultores e engenheiros civis, arquitetos, empreiteiros, instituições profissionais, autoridades públicas e outras partes interessadas na engenharia civil e construção civil nos países membros e no exterior.

3.1.1.3. Carbone 4

A Carbone 4 é uma empresa, criada em 2007, de consultoria e especialista em aconselhamento sobre os desafios da transição energética, as questões da indústria e as questões ambientais. Consiste numa equipa de vinte consultores, que ajudam as organizações públicas e privadas em questões de ambiente e desenvolvimento sustentável, tendo especial atenção à medição e compreensão da sua dependência da interação energia-clima e dos desafios energéticos e da transição ambiental. Pretende ainda diminuir os riscos assim como as oportunidades relacionadas com estas questões. Por último ajudam na construção e implementação de métodos e ferramentas de modo a integrar as organizações nos projetos e nos desafios do desenvolvimento sustentável.

3.1.2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

O facto dos resultados dados pela calculadora de carbono serem comparáveis, permite verificar os verdadeiros valores das pegadas de carbono das diferentes soluções construtivas. Isto deve-se à tecnologia que se utiliza nesta calculadora, que permite a todos os membros da EFFC e DFI o cálculo da mesma forma, com consistência no perímetro de cálculo e fatores de emissão. Possibilita também a análise discriminada dos projetos, ou seja, uma análise de todos os elementos construtivos da obra separadamente, de tal forma que se conseguem baixar as suas emissões. O objetivo que estas três entidades (EFFC, DFI e Carbone 4) tiveram foi de adequar métodos gerais às fundações profundas e ao melhoramento/tratamento do solo.

A calculadora foi desenvolvida sobre um programa comercial, o Microsoft Excel® o que permite visualizar as expressões de cálculo, de modo a tornar a calculadora mais transparente para os utilizadores. Esta calculadora tem uma vantagem que a promove relativamente as outras existentes, é constituída por um conjunto de fatores de emissão que permitem a sua utilização em toda a Europa, e que tiveram origem em bases de dados nacionais e internacionais.

3.2. DESCRIÇÃO DA CALCULADORA

A metodologia de cálculo que foi utilizada para o desenvolvimento desta calculadora tem a capacidade de separar as fontes de emissão relacionadas com o ciclo de vida de um projeto, em fonte primária e fonte secundária. Esta última pode ser quantificada através de rácios estatísticos obtidos através de mais de uma centena de obras ou através de dados específicos da própria obra. Os resultados que se obtêm no final, são tão mais detalhados e corretos, quanto mais elementos forem considerados no método de avaliação.

Esta torna-se a grande vantagem desta calculadora, o facto de a poder adaptar e parametrizar consoante a informação existente e/ou mesmo a especificação de cada projeto, mantendo a matriz base e a conceção da metodologia de cálculo. Por outras palavras mantendo o mesmo método de cálculo, pois estuda os mesmos parâmetros, materiais e o seu transporte, equipamentos, resíduos transporte de pessoas e de equipamentos e consumos destes, mas que podem ser escolhidos e detalhados em específico para um determinado projeto.

Cada projeto é então dividido em subprojectos, em função do conjunto de tecnologias geotécnicas que integram este mesmo projeto. Para cada subprojecto é necessário definir a tecnologia base pretendida, de modo a poder assumir, por defeito, os dados das fontes de emissão secundárias. Nesta calculadora existem especificamente as seguintes técnicas:

- Estacas moldadas;

- Estacas moldadas com deslocamentos de solos
- Microestacas;
- Paredes moldadas;
- Cortina de estacas prancha;
- Cortina de estacas;
- Ancoragens;
- Pregagens;
- Compactação dinâmica;
- Vibrocompactação;
- Grouting;
- Jet-Grouting;
- Colunas de brita;
- Soil mixing;
- Drenos verticais.

É ainda possível utilizar a calculadora para outras técnicas, para além das anteriormente mencionadas, recorrendo à parametrização de novos processos através da base de dados inserida na calculadora para os materiais, equipamentos e mão-de-obra.

A calculadora não considera emissões relativas às atividades de apoio ou de escritório, sendo consideradas atividades independentes do processo construtivo, contudo devido à flexibilidade da ferramenta estas podem ser consideradas manualmente. Pelo contrário a calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4 permite quantificar as emissões associadas ao fabrico dos equipamentos, isto deve-se à sua quota-parte do conceito de depreciação, utilizada para a amortização dos ativos de uma empresa.

3.3. OS FATORES DE EMISSÃO

A emissão dos gases de efeito de estufa é obtida, como já foi mencionado anteriormente na Fig. 2.8, pelo somatório dos dados das atividades incluídas no perímetro de cálculo por um fator de emissão. Os fatores de emissão considerados na calculadora e que resultam da vasta experiência das empresas envolvidas no projeto são fundamentais para que as emissões de projetos possam ser comparáveis. Todos os fatores introduzidos na calculadora e que resultam da opção do próprio utilizador são claramente identificados nas folhas de resultados, garantido a transparência de todo o processo permitindo deste modo conciliar a análise e a comparação de projetos. Contudo é possível utilizar outros dados de bases que se encontram também inseridos na calculadora e são mais específicos para cada país ou região como a Bilan Carbone, DEFRA, EPA, ou até mesmo dados de emissão determinados pelo fornecedor. A EFFC DFI fica responsável pela atualização regular da base de dados. Mesmo com estas possibilidades todas, subsiste ainda a possibilidade de determinados dados não se encontrarem nas várias listas, o guia da calculadora de carbono (DFI/EFFC/Carbon4, 2013) aconselha para estes casos a adoção de uma das seguintes hipóteses, considerar um material que se assemelhe, existente na base de dados, ou acrescentar o novo material com um fator de emissão associado e indicá-lo à EFFC-DFI, para que a coloquem na sua base de dados, juntamente com documentos que comprovem a sua veracidade e importância. Apenas será possível ver estas alterações nas novas versões da calculadora. A Fig. 3.1 apresenta o processo de escolha dos fatores de emissão apresentando a possibilidade de usar as bases de dados fornecidas pela calculadora, ou de optar por outro valor.

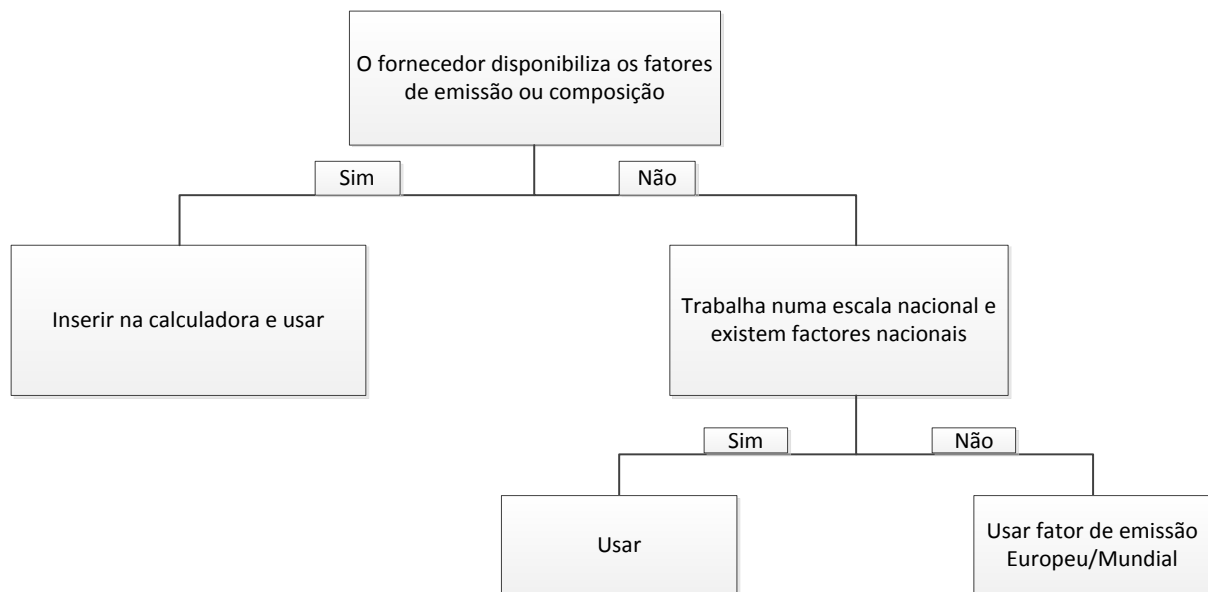


Fig. 3.1 Escolha de Fatores de Emissão (CORDEK, 2014)

É necessário entender que apenas são consideradas as emissões das fases de aquisição de materiais e de pré-processamento, produção e transporte no período de produção, isto advém do facto das emissões associadas às fases de distribuição, armazenamento e tratamento de inertes terem um carácter passivo com um peso nas emissões reduzido. Temos então como fontes de emissão:

- Fabrico de materiais;
- Transporte dos materiais da fábrica para a obra;
- Consumo de energia;
- Transporte de pessoas;
- Transporte de máquinas e equipamentos;
- Depreciação do fabrico de equipamentos;
- Transporte de resíduos para o local de tratamento;
- Tratamento de resíduos (através da sua introdução manual).

O fabrico de equipamentos, um aspeto que não é considerado pela maioria das outras calculadoras, é aqui obtido através da depreciação de ativos, onde se considera o peso total do equipamento afeto ao fator de emissão do aço em chapa e à taxa de amortização.

As emissões, como foi mencionado na secção 3.2, são divididas em primárias ou secundárias e determinam-se através da percentagem de contributo para a pegada global relacionada a uma determinada técnica construtiva. Deste modo, para as percentagens iguais ou superiores a 5% são consideradas emissões primárias, para percentagens inferiores a 5% temos as emissões secundárias. Assim sendo, conforme a tecnologia utilizada o enquadramento de cada fonte emissão varia. Contudo as fontes primárias, na maior parte dos casos, são referentes aos materiais e ao consumo de energia direta para a sua utilização. Os transportes e os equipamentos, são em norma considerados fontes emissão primária, para os casos de melhoramento do solo.

Sendo as fontes primárias, na análise de 100 projetos de diferentes tecnologias, representantes de 90% da pegada total de carbono, tornando-se assim, o principal foco de desenvolvimento da calculadora. As fontes de emissão secundárias, ao contrário das primárias, têm um impacto muito pequeno na pegada

global do projeto. Para as emissões secundárias, a calculadora admite três possibilidades de cálculo que se encontram definidas no quadro abaixo.

Quadro 3.1 Métodos de Cálculo das Emissões Secundárias

Método	Definição	Fórmula de cálculo
Cálculo Percentual	Emissões secundárias obtidas através de uma percentagem das emissões primárias	Fonte de emissão secundária $Y = \text{Fonte de emissão primária} \times \%Y$
Cálculo com base em dados normalizados da atividade	Aplicação de um rácio normalizado da atividade	Fonte emissão secundária $Z =$ (dados da atividade) \times (dados/rácios normalizados da atividade) \times (fator de emissão)
Cálculo detalhado	Cálculo aproximado das emissões secundárias, através da inserção manual de dados da atividade e os respetivos rácios (valores que se sobrepõem aos pré-definidos)	

A diferenciação, utilizada pela calculadora, entre os fatores de emissão primários e secundários, leva a que esta seja muito mais fiável, simplificando assim o seu processo de determinação, dado que a incerteza relativa às emissões secundárias é superior à das emissões primárias. É importante relembrar que todas as incertezas podem ser atenuadas, consoante o detalhe e parametrização das fontes de emissão utilizadas.

Descrevendo mais especificamente as fontes de emissão dos diferentes tópicos abordados pela calculadora temos, para começar os materiais em que as emissões são referentes à sua fabricação, sendo de destacar os materiais de base cimentícia, os elementos metálicos e a bentonite, dado o elevado valor dos respetivos fatores de emissão.

O problema das emissões relativamente ao cimento provém da sua produção, que origina mais de 5% de emissões GEE antropogénico. A produção de cimento a temperaturas altas requer a utilização de combustíveis fósseis, assim como a descarbonização do calcário leva à emissão de CO₂. Contudo, a engenharia de fundações permite a utilização de cimentos com diferentes percentagens de adições, muitas das quais subprodutos industriais com fatores de emissão baixos, como por exemplo as cinzas volantes, as escórias de alto-forno entre outros, onde a importância de conhecer o tipo de cimento previsto para cada projeto de fundações ou de melhoramento de solos.

Já as emissões do aço que pode ser em barras, tubos, chapas, fios e cabos, variam principalmente se forem estes reutilizados, uma vez que se não sofrerem transformações não existem emissões provenientes do fabrico, ou reciclados. Sendo que dentro desta categoria a percentagem de material reciclado e material em bruto pode variar e quanto maior for a primeira menor será o seu fator de emissão, dado que as emissões de reciclagem são inferiores às da produção através de materiais em bruto.

Um outro grupo com maior taxa de emissão de CO₂e, a seguir aos materiais, é o da energia sendo dividido em diesel e eletricidade, esta deve-se ao consumo direto das máquinas ou geradores e ao

transporte de equipamentos (mobilização ou desmobilização de equipamentos), assim como o transporte de pessoas.

As emissões provenientes dos combustíveis referem-se à sua combustão, assim como extração, produção e transporte deste. A eletricidade depende das fontes de energia de cada fornecedor dentro do mercado comunitário de comercialização de eletricidade, mas a calculadora adota valores médios respeitantes a cada país. Serão ainda adicionados 8% aos valores finais representando as perdas no transporte e distribuição. Em alguns casos o uso de eletricidade em detrimento do combustível pode reduzir as emissões de GEE.

No transporte de pessoas as emissões tidas em conta provêm da combustão do combustível, da sua produção e da construção dos veículos. Sendo uma fonte de emissão secundária, a calculadora adota os seguintes pressupostos: as viagens de casa para o trabalho são diárias; que todos os trabalhadores vêm de carro ou seja uma viagem de ida e volta para cada trabalhador; que a distância entre o lugar de permanência e o trabalho é de 50km. Estes valores que são colocados por defeito podem ser assumidos quando não se tem esta informação, mas para uma avaliação mais rigorosa estes devem ser substituídos pelos valores reais.

No transporte deve-se ter em conta a combustão do combustível e o ciclo de produção deste assim como a construção e depreciação dos equipamentos. Os fatores de emissão são aplicados por tonelada, por quilómetro ou veículo x quilómetro e são independentes da carga de transporte, são por isso propostos diferentes equipamentos avaliados pelos seus fatores de emissão por quilómetro. Sendo necessária a definição do número de viagens realizadas pelo veículo, que podem ser determinadas dividindo a quantidade de material pela capacidade carga do transporte. As emissões secundárias deste tópico dependem do tipo de materiais, sendo considerados para cada um, um dos tipos de transporte assim como uma distância, que podem ser alterados pelo utilizador.

Os ativos referem-se aos equipamentos e os GEE emitidos são relativos ao seu fabrico, assim sendo as emissões são divididas pelo tempo de vida do equipamento e depois multiplicado pela duração da obra. Os níveis de incerteza destas emissões são altas e apenas atenuadas caso se tenha o ciclo de vida do equipamento ou a pegada ecológica destes. Caso a tecnologia adotada considere os ativos como uma fonte de emissão secundária, o valor de emissão secundária é igual ao valor de emissão primária total multiplicado por um coeficiente. Caso seja considerada como uma fonte de emissão primária ou se o utilizar optar pela introdução manual, a depreciação é feita automaticamente através da divisão do número de dias de trabalho do subprojecto por um tempo de vida de 10 anos e 150 dias úteis por ano, este valor é assumido por defeito. Os valores conhecidos como o número de dias em que a máquina realmente trabalha durante toda a obra, assim como o seu tempo de vida, se conhecido, devem ser inseridos.

Por último as emissões provenientes dos resíduos são referentes unicamente ao seu transporte, é considerado como uma emissão secundária e logo são tidas em conta com um rácio adicional. Tal como nas outras situações, o utilizador também pode optar por introduzir manualmente os parâmetros referentes ao transporte dos resíduos, nomeadamente o seu peso, distância ao local de vazadouro, tipo de transporte e taxa de retorno com o veículo vazio.

3.4.O PERÍMETRO DO CICLO DE VIDA DE UMA DETERMINADA ATIVIDADE

O perímetro do ciclo de vida que vai do “cradle to grave” o que corresponde à Fig. 3.2.

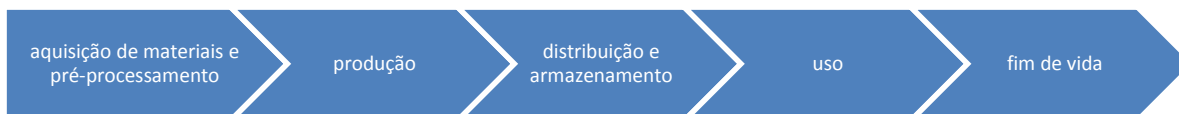


Fig. 3.2. Fases de análise do ciclo de vida do "cradle to grave" (DFI/EFFC/Carbon4, 2013)

Através da análise do perímetro do ciclo de vida apresentado na Fig. 3.2 conclui-se que no caso em estudo apenas entrará a fase de aquisição de material e pré-processamento e a fase de produção, dado que para o caso das fundações as outras fases não têm relevância. Na fase da distribuição, é necessário perceber que a produção das fundações é feita na obra, deste modo apenas interessa o transporte para a fase de produção. A fase de uso, das fundações, não leva à emissão de gases, até mesmo em caso de necessidade de manutenção a quantidade de energia e materiais é negligenciável, uma vez que se compara esta quantidade com a necessária para a fase de construção. O fim de vida de uma fundação pode ocorrer dezenas de anos após a sua execução o que leva a uma incerteza nos fatores de emissões associados e os componentes desta na maioria inertes têm uma pegada de carbono praticamente insignificante. Assim concluímos que esta calculadora não diferencia um projeto provisório de um definitivo. No entanto, permite por depreciação dos meios utilizados em obra que sejam provisórios, considerando-os como equipamentos e assim indicando a respetiva vida técnica, ou como materiais através da divisão da quantidade de matérias pelo número de aplicações.

São ainda negligenciáveis, as emissões provenientes do local e do trabalho de escritório, assim como o impacto no uso do solo não é tido em conta nesta fase, sendo atribuída à construção do edifício ou à infraestrutura.

3.5.DADOS DA ATIVIDADE E SISTEMATIZAÇÃO DOS CÁLCULOS

A calculadora é de fácil utilização, encontra-se dividida em folha de leitura, folha de cálculo, folha de consolidação e folha de resultados. A primeira informa o utilizador acerca dos princípios do cálculo e à forma de uso da ferramenta, a segunda contém a informação da atividade sendo que para cada é utilizada uma folha, a terceira é utilizada aquando da existência de várias técnicas sendo usada para a comparação destas, ou mesmo quando a tecnologia é constituída por diferentes partes permitindo a sua escolha. A última, com configuração A4, serve para a colocação dos resultados principais e para a sua impressão.

Quanto mais complexo são os projetos, mais difícil é a sua análise, a calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4 tem como processo de simplificação a análise por subprojectos. Estes provêm da subdivisão do projeto em elementos menores, que correspondam a um processo construtivo diferente, é possível analisar este sistema através da Fig. 3.2.

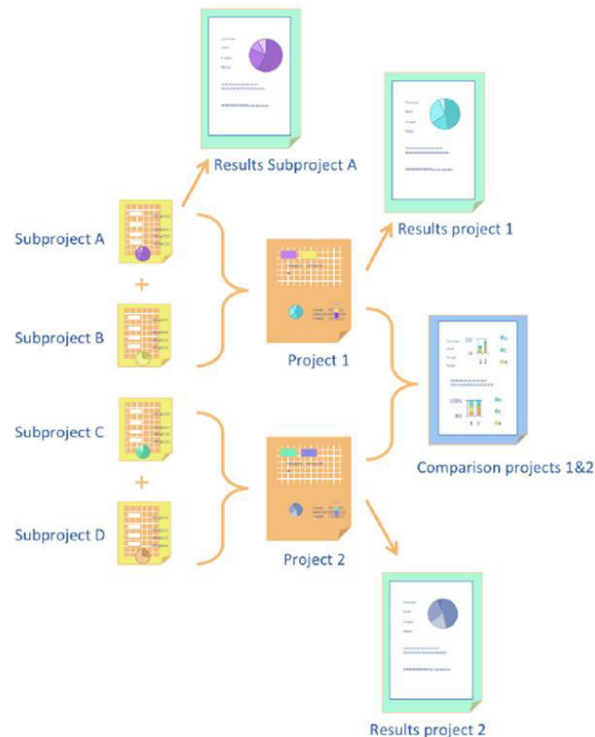


Fig. 3.3. Diagrama da Calculadora de Carbono, através da análise de dois projetos, por dois subprojectos(DFI/EFFC/Carbon4, 2013)

Este tipo de avaliação possibilita a análise comparativa, qualitativa e gráfica dos parâmetros que são mencionados abaixo:

- Características específicas do projeto/subprojecto (mão de obra, dias úteis de trabalho, valor do projeto ou outros que podem ser introduzidos);
- Emissões globais de GEE (tCO_2e);
- Emissões parciais de GEE por fonte de emissão (tCO_2e e %);
- Emissões de GEE por material (tCO_2e);
- Emissões parciais de GEE por valor de projeto ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{€}$);
- Emissões de GEE por fonte de emissão primária e secundária (tCO_2e);
- Grau de incerteza dos resultados (tCO_2e).

A Calculadora de Carbono da EFFC/DFI/Carbone4 determina fatores de emissão e rácios predefinidos que permitem uma avaliação expedita contudo com um certo grau de incerteza, dados que estes são valores médios que não correspondem aos valores da obra.

A calculadora tem os seguintes itens de análise: materiais incluindo o seu transporte, energia, mobilização e desmobilização, resíduos (estes três avaliam-se através dos veículos), transporte de pessoas e ativos que correspondem a máquinas.

Os materiais podem ser avaliados como materiais em bruto ou sejam obtidos a partir de matérias-primas, materiais reciclados, mistura de material em bruto e reciclado ou materiais reutilizados, sendo possível na calculadora a escolha de um destes tipos. Deve-se mencionar que quanto maior for a incorporação de materiais reciclados menor serão as emissões.

Na parte referente ao transporte os dados são introduzidos automaticamente pela calculadora, sendo possível inserir o valor real da distância entre o local de fabrico e o da obra, o tipo de veículos, o número de viagens. Para o caso destas não serem determinadas previamente, ao inserir a carga por camião estas são definidas automaticamente, dividindo a quantidade de material pela carga do camião. É ainda possível a introdução da taxa de retorno através da indicação da carga do veículo, vazio/cheio.

Relativamente aos rácios, sempre que se trata de uma fonte de emissão primária, a opção automática fica desligada e terão que se utilizar valores estimados pelo utilizador, já nas fontes de emissão secundária os rácios estarão ligados e apenas serão desligados se, se inserir informação real.

Quadro 3.2 Utilização do rácio para os diferentes tipos de fontes de emissão (DFI/EFFC/Carbon4, 2013)

	Fonte de emissão primária	Fonte de emissão secundária	
		Sem informação real	Com informação real
Por defeito	OFF	ON	OFF
Alterar manualmente para off	OFF	OFF	

A mobilização/desmobilização refere-se à montagem do estaleiro ou seja o transporte do equipamento necessário para a obra. Para a sua definição é então necessária a seleção do tipo de veículos que se irão utilizar, ou seja a sua capacidade de carga, o número de viagens a realizar, assim como a distância a ser percorrida entre o local de armazenamento das máquinas até ao local da obra, por último será necessário referir se os veículos fazem a viagem de volta cheios ou vazios, através da indicação da taxa de retorno do veículo.

No transporte de pessoas existem dois tipos de viagens, as que se realizam diariamente entre o local de trabalho e a residência permanente e/ou temporária e as viagens denominadas por profissionais do próprio pessoal, a primeira requer a escolha do tipo de transporte, carro, camioneta ou comboio, o número de viagens, a frequência com que estas se realizam e a distância de percurso. Já no segundo tipo de viagens é apenas necessário indicar o tipo de transporte e a distância total da viagem.

Existem dois tipos de ativos, as máquinas e as ferramentas equiparadas a aço em chapa, com fatores de emissão distintos. A sua depreciação realiza-se através da seleção do peso destas, o tempo de vida em número de dias de trabalho por ano e o número de dias que o equipamento se encontra em funcionamento.

Por último os resíduos são tratados de modo idêntico ao dos transportes.

3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O segundo capítulo pretende esclarecer o funcionamento da calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbon4, que abrange grande parte das técnicas geotécnicas que vão desde estruturas de contenção/ suporte, métodos de tratamento e métodos de drenagem, para estas técnicas a calculadora fornece valores pré-definidos que podem ser adotados ou alterados pelos valores reais da obra. As técnicas abrangidas pela calculadora são as estacas moldadas, estacas moldadas com deslocamentos de solos, microestacas, paredes moldadas, cortina de estacas prancha, cortina de estacas, ancoragens, pregagens, compactação dinâmica, vibrocompactação, grouting, jet-Grouting, colunas de brita, soil mixing e drenos verticais. No entanto a calculadora não avalia apenas estas. Permite a inserção de dados

referentes a outras técnicas, criando uma folha específica para estas, para tal é apenas necessário a escolha do parâmetro *other* que se permite adaptar a todos os tipos de obras geotécnicas.

A calculadora possui várias bases de dados que podem ser selecionadas no início da obra, a base de dados aconselhada pela EFFC/DFI e a Carbone 4 e as que se especificam a determinados países como a Bilan Carbone, DEFRA, EPA. No entanto estas podem não conter um material específico, assim sendo a calculadora permite a inserção manual de valores de emissões na sua base de dados. A obtenção das emissões específicas são, no entanto, de difícil obtenção e são normalmente fornecidas pelo fabricante do material, para o caso de não se conseguir obter estes valores concretos a calculadora aconselha a escolha de um fator de emissão que mais se aproxime ao do material a utilizar.

Do ciclo de vida de uma construção a calculadora apenas avalia algumas fases específicas desta, que são em concreto, a fase de aquisição de material e pré-processamento e a fase de produção, uma vez que para o caso das fundações as outras fases não têm interesse. Por exemplo a fase de fim de vida pode ocorrer após várias dezenas de anos, e no caso específico deste tipo de obras os materiais que as constituem não apresentam componentes nocivos, sendo a maioria deles materiais inertes. Por esta razão depreende-se que a calculadora não avalia se a obra é ou não definitiva.

A calculadora de carbono analisa cada projeto através de subprojectos, ou seja uma obra de contenção será dividida em todas os elementos específicos para a sua concretização, este facto é de mais fácil compreensão aquando do estudo dos casos propostos nesta dissertação. A avaliação concretizada dos diversos projetos propostos, pela calculadora de carbono, possibilita a análise comparativa, qualitativa e gráfica dos seguintes parâmetros características específicas do projeto/subprojecto (mão de obra, dias úteis de trabalho, valor do projeto ou outros que podem ser introduzidos), emissões globais de GEE (tCO_2e), emissões parciais de GEE por fonte de emissão (tCO_2e e %), emissões de GEE por material (tCO_2e), emissões parciais de GEE por valor de projeto ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{€}$), emissões de GEE por fonte de emissão primária e secundária (tCO_2e) e o grau de incerteza dos resultados (tCO_2e). Para que tal seja possível a calculadora analisa em cada subprojecto os materiais e o seu transporte, sendo que a contabilização destes é referente à sua fabricação, às emissões que se produziram aquando desta. Podendo ser indicado percentagens da reutilização ou reciclagem do material. Avalia também os consumos de energia provenientes dos equipamentos necessários para a sua execução, os transportes necessários para o deslocamento destes equipamentos, o transporte dos trabalhadores contabilizando as viagens de casa ao local de residência providenciado exclusivamente para a execução da obra (caso esta seja necessária) e o deslocamento desta até ao local da obra. É necessário também a especificação do peso dos equipamentos utilizados, os resíduos provenientes da obra e por último possibilita a contabilização de outras emissões calculadas externamente.

Para que esta avaliação seja viável a calculadora necessita da identificação do país em que a obra é executada assim como o número de dias necessárias para a realização de cada subprojecto e número de pessoas indexadas a este. Para se ter uma análise completa que leve a uma escolha mais consciente é importante a colocação do preço de cada um, para que a calculadora possa executar a relação entre as emissões e custo da obra, podem contudo ser colocados outros parâmetros para esta relação sem ser necessário o orçamento.

4

CUNHA DE TRANSIÇÃO COM COLUNAS DE CSM

4.1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é utilizar uma obra de uma cunha de transição, onde habitualmente se faz tratamento de solos, para avaliar o impacto das várias soluções de tratamento nas emissões de carbono que a calculadora nos permite quantificar. Para esse efeito, faz-se uma apresentação sumária da obra que se vai considerar na análise.

Uma cunha de transição é uma estrutura utilizada para promover uma passagem entre uma obra rígida (como por exemplo uma ponte) e uma obra mais flexível (como um aterro rodoviário) com rigidez vertical variável. Ou seja, para ter assentamentos diferenciais reduzidos, como através da redução dos esforços dinâmicos, é necessário fazer um aterro mais rígido que os aterros convencionais através dum maior controlo na sua execução, assim como uma escolha rigorosa dos materiais que o constituirão. É também necessário para o bom funcionamento desta estrutura, que seja realizada uma compactação adequada assim como uma boa drenagem (Fig. 4.1).

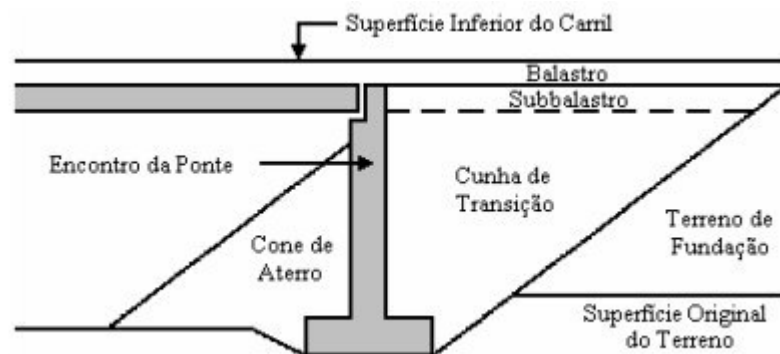


Fig. 4.1. Esquema de uma zona de transição - ponte, aterro (Lopes, J.A.F.d.P., 2008)

Uma técnica com grande sucesso nas zonas de transição aterro/encontro de pontes é o reforço da cunha de transição através de inclusões rígidas e semirrígidas. A sua utilização, para este caso em particular, foi obtida através de colunas de Cutter Soil Mixing (CSM), (mas poderia também ser obtida por exemplo com estacas de betão) em que o seu comprimento aumenta com a sua aproximação ao encontro da ponte. Este aumento progressivo permite compensar as diferenças de rigidez vertical entre a zona de encontro e a própria cunha de transição.

Para este caso será utilizada uma cunha de transição com colunas de CSM. Esta técnica consiste numa mistura *in situ* do solo com agentes estabilizadores, criando painéis de solo tratado (Sousa, E.D.C., 2009) (Lopes, P.N.P., 2010). O seu funcionamento baseia-se numa cabeça de corte que contem duas rodas dentadas denominadas por fresas, que giram em torno de um eixo horizontal e em sentidos opostos. O movimento de rotação das rodas dentadas, para além de desagregação do solo, permite a sua mistura e homogeneização com ligante injetado através de um bico localizado entre as rodas.



Fig. 4.2. Cabeça de corte com duas rodas dentadas e jato (Bauer, 2014)

Neste caso, considera-se que a cunha se prolonga por 30 m de cada lado da ponte numa largura de 20m, o que corresponde a 1200 m² de área em planta Fig. 4.3.

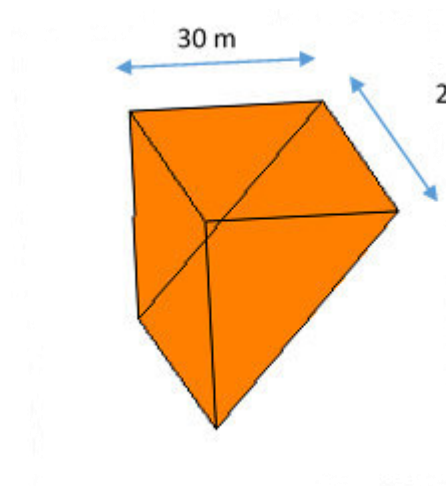


Fig. 4.3. Geometria da cunha de transição

As colunas seriam dispostas em malha quadrada com 3,5 m de afastamento, perfazendo cerca de 100 colunas ($1200/3,5^2$). Supondo um comprimento por coluna de 6 m resulta um total de 600 m de coluna (100×6) – equação 1 e 2.

$$n^{\circ} \text{ colunas}/m^2 \text{ de área planta} = \frac{9}{(3l)^2} = \frac{9}{9l^2} = \frac{1}{l^2} \quad (1)$$

$$x = \frac{1200}{l^2} \Rightarrow 100 = \frac{1200}{l^2} \Leftrightarrow l = \sqrt{\frac{1200}{100}} = 3,5m \quad (2)$$

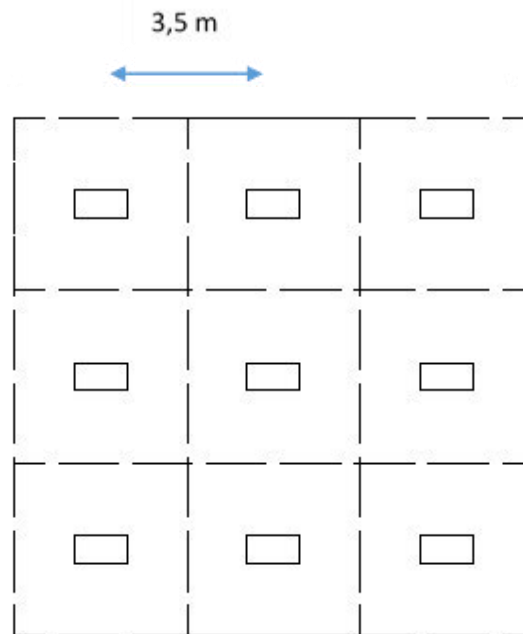


Fig. 4.4. Esquema representativo da malha de furação

Dado o tipo de construção em análise considera-se um solo granular compactado, igual ao do aterro adjacente. Assim sendo, visto que é um solo uniforme com painéis de pequena profundidade, será considerando o CSM de apenas de uma fase Fig. 4.5. Neste tipo a injeção é realizada ao mesmo tempo em que o equipamento executa a fase de penetração, corte, fluidifica e homogenisa. Será necessário um equipamento de ar comprimido para assistir na fase de descida, sendo que é nesta fase que é injetada cerca de 70% da calda. O excesso de calda é retirado através de uma retroescavadora. Após chegar à profundidade pretendida a injeção de ar é parada. Na fase de subida a quantidade de calda que sobrou ou seja os restantes 30% é misturado no solo, a velocidade de subida pode então ser superior uma vez que a maior parte da mistura já foi realizada na fase de descida. As vantagens do sistema de uma só fase são o facto de não ser necessário o recurso a um processo de desarenização, assim como tem a possibilidade de uma maior velocidade de extração. Este procedimento funcionará tanto para os dois tipos de cimento como para a ativação alcalina.

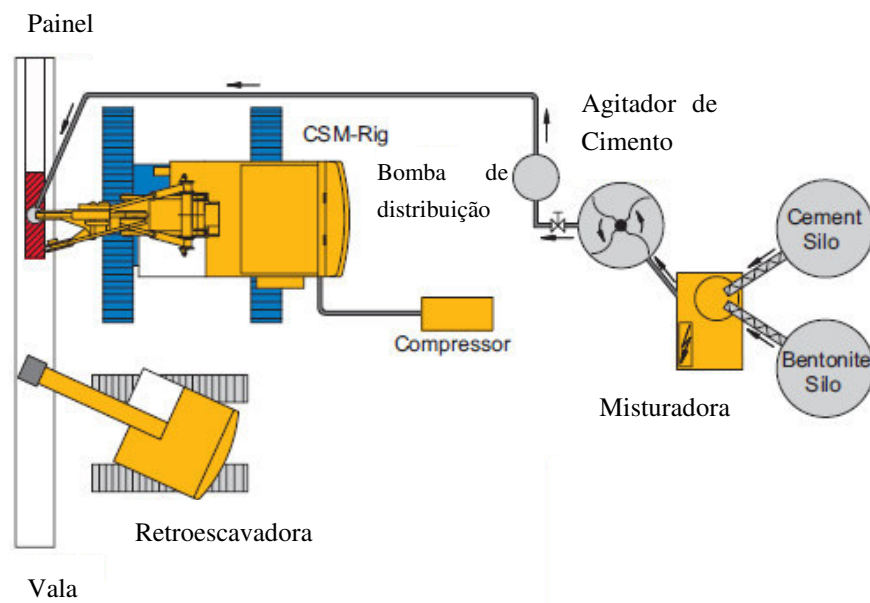


Fig. 4.5. CSM Sistema de uma fase (Bauer, 2014)

Atendendo à profundidade das colunas que é inferior a 15m, para a execução dos painéis de CSM, foi utilizado um *cutter* do tipo BCM5 montado num equipamento de lagartas modelo BG 24 H, da Bauer. Assim, obteve-se a dimensão da coluna que se encontra representado na Fig. 4.6. Com base nestas dimensões, obteve-se o número de metros de coluna com se expressa no Quadro 4.1.

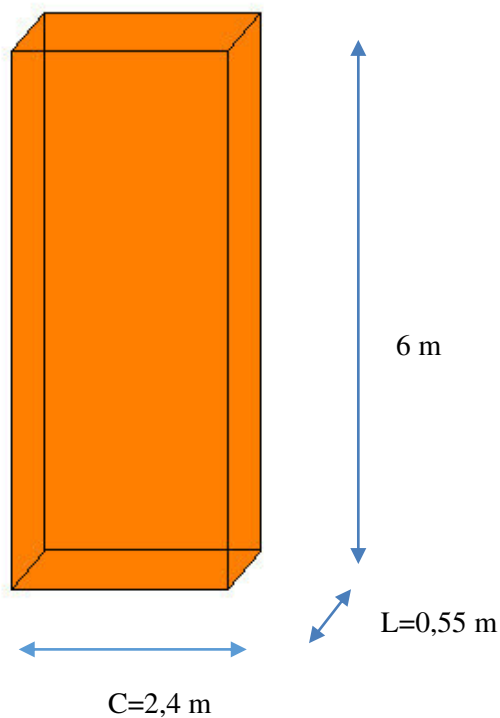


Fig. 4.6. Dimensões da coluna de CSM

Quadro 4.1. Caracterização Geométrica

Caracterização Geométrica	
Área em planta	1200m ³
Número de Colunas	100
Comprimento de Coluna	6m
m de coluna	600m
Distância entre colunas	3,5m
Coluna	C = 2,4m L = 0,55m

4.2. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O ligante que é normalmente utilizado no solo desagregado é o cimento, sendo que o catálogo da BAUER (Bauer, 2014) recomenda o cimento ordinário da Portland (*ordinary Portland cement*, OPC) ou CEM III/B.

No caso em estudo serão utilizados três tipos de ligantes, o OPC ou CEM I, o CEM III/B e ativação alcalina de cinzas volantes (AA) com o intuito de perceber qual o método que produz menos CO₂e. Para tal é necessário compreender melhor este novo método, que consiste numa reação entre sílica e alumina da cinza e os iões alcalinos, normalmente sódio ou potássio. A cinza envolvida neste processo é um subproduto industrial pela que a sua utilização é ambientalmente benéfica. As razões que levaram ao interesse na análise deste tipo de ligante na estabilização de solos estão relacionadas com a melhoria do ambiente, mais especificamente com a produção de CO₂e. Na realidade, a produção de cimento conduz à libertação de CO₂ correspondente a aproximadamente 7% do total de CO₂ antropogénico, o que torna urgente a procura de outros procedimentos para a realização de ligantes. A causa destes valores provém da calcinação do calcário que leva a formação e libertação de CO₂, e o consumo de energia para a sua produção.

Existem ainda misturas de cimento onde uma percentagem do cimento Portland ordinário é substituído por materiais cimentícios suplementares. Este tipo de materiais podem ser cinzas volantes, resíduos provenientes das emissões libertadas pelas centrais energéticas de carvão, escória de solo granulado em alto-forno ou resíduos resultantes da produção de aço. Estudos demonstram que estas misturas de cimento levam a uma redução de CO₂ entre 13-22% (Turner, L.K. and Collins, F.G., 2013), contudo este valor varia consoante a facilidade ou dificuldade de obtenção de materiais em bruto, quantidade de aglutinante assim como a sua percentagem na mistura, tipo de produção, clima, fontes energéticas e distância de transporte. O cimento do tipo 3 classificado como B (CEMIII/B) é produzido através da combustão de uma mistura calcário com escória num forno giratório a altas temperaturas. A escória granulada de alto-forno (blast furnace) com água é um produto resultante da produção de ferro-gusa produzido em alto-forno, sendo que gusa provém da redução do minério de ferro pelo coque ou carvão e calcário. Como o material retardador utilizado é anidrido, que é um material natural que se consegue encontrar em pedreiras, a composição é aproximadamente a seguinte: 25% de cimento Portland, cerca de 70% de escória granulada de alto-forno e sensivelmente 5% de anidrido(Cimalux, 2014).

Em termos técnicos as vantagens da ativação alcalina de cinzas quando comparada com o cimento, referem-se não só ao seu comportamento mecânico mas também à sua durabilidade. A outra grande vantagem deste tipo de material é o facto de ser possível usar os resíduos em novas construções e assim

reduzir o volume de material a ser depositado em aterros. Estudos revelam que ao nível da porosidade a ativação alcalina apresenta valores menores do que argamassas de cimento o que é uma vantagem no que concerne à durabilidade em ambientes agressivos como os que serão encontrados no solo. Deve-se referir que esta técnica tem vindo a ser experimentada em jet-grouting, técnica mais corrente e com menor custo de utilização do que o CSM e com uma vasta área de aplicações.(Cristelo, N. [et al.], 2013). A aplicação do CSM é então utilizada nesta dissertação como um caso de estudo.

4.3. DADOS REQUERIDOS PELA CALCULADORA DE CARBONO

A Calculadora de Carbono da EFFC/DFI/Carbone4 não avalia só a emissão de CO₂e proveniente da produção dos materiais, mas também as emissões provenientes do transporte. Nesse sentido é necessário a definição do local da obra assim como a dos fornecedores, estaleiros, depósitos entre outros que se encontram descritos no Quadro 4.2. Neste caso, a localização da obra foi considerada em Vila Real, pelo que se procuraram os fornecedores que se situam mais próximos, de modo a minimizar os custos de transporte. O local de armazenamento dos equipamentos foi considerado no Montijo.

Relativamente à solução com ativação alcalina, aqui designada CSM de Ativação Alcalina, a maior diferença está relacionada apenas com o material. Este será fornecido por diferentes empresas e portanto ao nível da localização apenas variará, relativamente à solução “CSM de cimento”, na localização do fornecedor, como é possível verificar através do Quadro 4.2.

Quadro 4.2. Localização

Localização		
Soluções	Cimento CEM I/III	AA
Localização da Obra	Vila Real	Vila Real
Distância entre fornecedores de cimento/ativadores alcalinos	105 km	366 km
Distância do armazenamento do equipamento da obra	383 km	383 km
Local de deposição de resíduos	20 km	20 km
Distância a fornecedor de inertes	25 km	25 km
Distância a fornecedor de Cinzas Volantes	-	311 km

Para o melhoramento do solo através do CSM, neste caso, foi utilizado para a produção da calda cimento. Tanto para o cimento ordinário como para o CEMIII, os valores para a composição são semelhantes de modo que será necessário apenas um cálculo para este tipo de calda. Para o seu cálculo tomou-se como pressuposto que a densidade do cimento é de 3,1 e que a quantidade de cimento é igual à quantidade de água. No Quadro 4.3 encontram-se os valores obtidos para a determinação das quantidades de materiais necessários para a execução dos trabalhos. Estes valores tiveram como referência os valores propostos no catálogo da BAUER.

Quadro 4.3. Quantidades de Trabalhos para a solução “CSM cimento”

Quantidades de Trabalhos	
	TOTAL
Quantidades habituais de calda/m ³ solo tratado	0,4m ³
Rácio w/c	1
Cimento/m ³ solo tratado	300kg/m ³
Comprimento das colunas (total)	600 m
Volume coluna	1,32m ³ /m
Cimento (total)	237,6 ton
Água (total)	237,6 ton

Como já foi referido a grande diferença recai no material da ativação alcalina. Para esta metodologia são necessários 3 materiais: a cinza, o silicato de sódio e o hidróxido de sódio, estes últimos em solução aquosa. O cálculo das quantidades destes materiais foi feito com base na mistura G8 de (Cristelo, N. [et al.], 2013) que possui as características indicadas no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 Quantidades de Materiais

Quantidades dos Materiais	
Ativador/cinza	0,82
Silicato de Sódio/Hidróxido de Sódio	0,5
Concentração do Hidróxido de Sódio	12,5 molal
Peso volúmico da calda	17.63 kN/m ³

Com base nestes dados, calcularam-se as quantidades de cinza e das soluções de silicato de sódio e hidróxido de sódio por m³ de calda, que foram depois multiplicados por 0,4 para ter os valores por m³ de solo tratado uma vez que a quantidade de calda manteve-se igual à solução base com cimento.

Os fatores de emissão inseridos na calculadora de carbono tiveram como referência a base de dados Ecoinvent que, em contacto com a empresa Solvay, se percebeu que correspondiam ao material puro. Assim, foi necessário calcular os valores puros das duas soluções. No caso do silicato de sódio, a ficha técnica indica que 60,7 % da solução é água. No caso do hidróxido de sódio, a concentração de 12,5 molal indica que por cada kg de água existe 12,5 x 40 g de hidróxido de sódio puro.

Tendo em atenção estes dados, os valores dos fatores de emissão são 1271,8 kgCO₂/t para o hidróxido de sódio e 1095,6 kgCO₂/t para o silicato de sódio.

Quadro 4.5. Quantidades de Trabalhos

Quantidades de Trabalhos		
	Por m3 de solo tratado	Totais
Cinza	395,6 kg/m ³	312,9 ton
Silicato de sódio	43 kg/m ³	95,4 ton
Hidróxido de Sódio	72 kg/m ³	171 ton
Água	208,7 kg/m ³	

Para os casos de tratamento de solo como este, os resíduos são apenas provenientes do refluxo uma vez que não se procede a nenhum tipo de escavação, ou saneamento. Para tal é necessária a determinação da percentagem de refluxo, que neste caso foi de 25,5% que multiplicado pelo volume de solo inicial fornece o valor pretendido que se encontra representado no Quadro 4.6.

A alteração dos materiais levou a uma modificação da percentagem de refluxo que passou para 32% e desta forma o seu valor final aumentou, chegando ao valor verificado no Quadro 4.6.

Quadro 4.6. Resíduos CSM Cimento

Resíduos		
Soluções	CEM I/III	AA
Refluxo	202m ³	253 m ³

Este tipo de obra apenas tem duas fases, uma relativa à mobilização e desmobilização dos estaleiros e outra ao processo de CSM. Para a determinação de CO₂e é importante saber a quantidade de dias de trabalho, uma vez que é necessário saber o tempo em que os equipamentos se encontraram em utilização. Para além do rendimento do equipamento deverá ter-se em conta a possibilidade da ocorrência de imprevistos, que serão contabilizados através de uma percentagem de 20%. É então possível calcular a duração da obra que é obtida através do rendimento e da dimensão linear das colunas (Quadro 4.7).

Para o CSM “ativação alcalina”, uma vez que a técnica de execução é a mesma, o rendimento de execução da obra não se altera, sendo portanto o planeamento do CSM cimento válido também para este. Assim sendo o número de recursos humanos necessários não se altera. Quanto aos equipamentos a única alteração prende-se no número de silos necessários, uma vez que o tipo de material se alterou, tornou-se essencial um aumento deste equipamento, como é possível visualizar no Quadro 4.8, sendo utilizado um para cada tipo de material. Deste modo o consumo total é alterado, uma vez que o rendimento relativo aos silos aumenta.

Quadro 4.7. Planeamento CSM

Planeamento	
Rendimento	12m/h
Duração da obra	8dias
Mobilização e Desmobilização do Estaleiro	7dias
Duração Total	15dias

Através do Quadro 4.7 é possível desenvolver um cronograma (Fig. 4.7), que permite fazer uma análise mais concisa do desenvolvimento da obra. Os quatro dias iniciais para a montagem de estaleiro são necessários para o transporte e descarga do equipamento, que demora em média cerca de um dia, e os restantes três dias são utilizados para a preparação da base para o silo de cimento e a montagem da central de mistura e injeção de cimento, assim como a preparação das linhas de bombagem, entre outros. Nestes três dias procede-se à montagem do equipamento de CSM. Para a desmontagem do estaleiro considera-se apenas três dias uma vez que alguns dos processos executados para a sua montagem não serão necessários nesta fase, como por exemplo a preparação da base para o silo de cimento.

Dias Trabalhos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Montagem do estaleiro															
Execução															
Retirada do Estaleiro															

Fig. 4.7. Cronograma do projeto de CSM

Serão necessários vários tipos de equipamentos para se proceder à execução da obra, para além da máquina principal (a BG 24 H que foi escolhida tendo em conta o tipo de cabeça de CSM que se pretendia assim como da profundidade de escavação) serão necessários equipamentos tanto para a produção da calda como para a remoção do refluxo. Neste caso apenas será necessário um silo para o cimento, uma vez que não se utilizará mais nenhum material. O Quadro 2.3 apresenta todos os equipamentos necessários para a realização da obra (Keck, S.u., 2010).

Quadro 4.8. Equipamentos

Equipamento				
Soluções	CEM I/III		AA	
Equipamento	Peso (ton)	Rendimento	Peso (ton)	Rendimento
BG 24 H	88,4	313 kW	88,4	313 kW
Silos	1,6	5 kW	3x1,6	3x5 kW
Delivery Pump	1,5	30 kW	1,5	30 kW
Agitator Tank	1,4	2,5 kW	1,4	2,5 kW
Hydraulic Backhoe	106,7	50 kW	106,7	50 kW
Slurry Mixing station	0,75	22 kW	0,75	22 kW
Compressor	1,67	108 CV	1,67	108 CV

O consumo total de combustíveis, apresentado no Quadro 4.9 pode ser obtido através do rendimento dos equipamentos necessários e do tempo em que trabalham. A sua avaliação é de extrema importância para a calculadora, uma vez que este parâmetro tem um peso relevante nas emissões de CO₂e.

Quadro 4.9. Consumo CSM cimento

Consumo		
	CEM I/III	AA
Diesel	5260,57 l	5365,10 l

Por último é necessário definir a equipa indispensável para o desenvolvimento da obra, uma vez que um dos parâmetros de análise da calculadora é o transporte de trabalhadores. Deve ser então analisada o tipo de obra e as necessidades que cada equipamento e fase da obra requerem relativamente a recursos humanos. O Quadro 4.10 descreve todos os trabalhadores necessários para a produção.

Quadro 4.10. Equipas CSM

Equipas	
Cimenteiro	1
Manobrador de grua	1
Encarregado de coordenação	1
Ajudante	1

A orçamentação da obra é um dos itens avaliados pela calculadora, sendo que sem este valor a comparação final que se pretende não se encontraria completa (Quadro 4.11).

Quadro 4.11. Orçamentação CSM

Orçamentação	
CEM I	71.232,00 €
CEM III	73.608,00 €
AA	96.395,40 €

Os valores relativos a ativação alcalina podem baixar uma vez que os valores do hidróxido de sódio e silicato de sódio poderão diminuir, uma vez que foram estimados através do custo de encomendas de pequena dimensão (25 ton).

4.4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA CALCULADORA

Todos os resultados abordados neste subcapítulo provenientes da calculadora de carbono serão também apresentados no anexo A1.

4.4.1. SOLUÇÃO COM CIMENTO CEM I

A análise da solução com cimento ordinário demonstra que a maior parte da produção de CO₂e provém dos materiais utilizados, sendo seguido pela energia, que no entanto conduz a uma menor quantidade de CO₂e emitido como é possível verificar na Fig. 4.8 e na Fig. 4.9 que são resultantes do diagnóstico da calculadora de carbono, assim como em todos as restantes figuras apresentadas. As emissões provenientes da produção dos materiais correspondem a 220 tCO₂e, enquanto o consumo de energia emite 19 tCO₂e, ou seja, apesar de ser o segundo parâmetro que mais emissões liberta, tem uma dimensão circunstancialmente inferior ao primeiro, cuja influência em termos percentuais é superior a 80% das emissões totais (Fig. 4.11). O terceiro parâmetro mais importante é a mobilização e desmobilização do estaleiro cujas emissões são de 6 tCO₂e, enquanto os restantes parâmetros rondam os 5, 4 e 1 tCO₂e respetivamente para transporte de mercadorias, equipamentos e transporte de pessoas. Deste modo chega-se às emissões totais, cujo valor é de 260 tCO₂e (Fig. 4.10) concluindo-se que este é praticamente proveniente das fontes de emissão primárias, cerca de 250 (Fig. 4.12), que são originadas pelos materiais e pela energia.

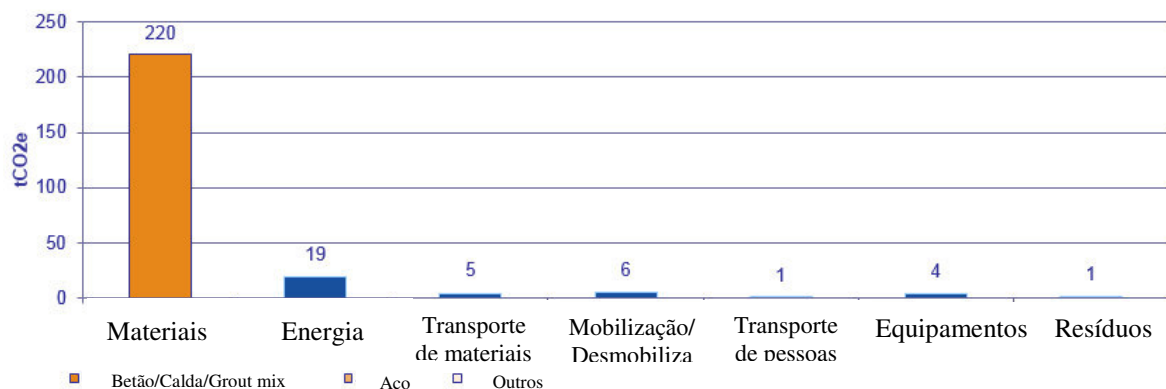
Fig. 4.8. tCO₂e para cada parâmetro do CEM I (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)



Fig. 4.9. Influência de cada parâmetro no total das emissões CEM I (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

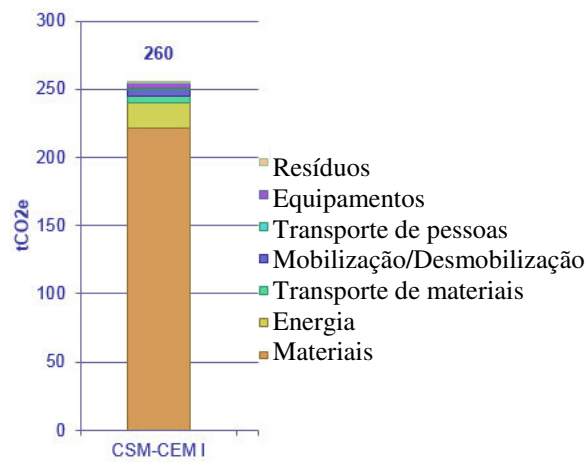


Fig. 4.10. Emissão total CEMI (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

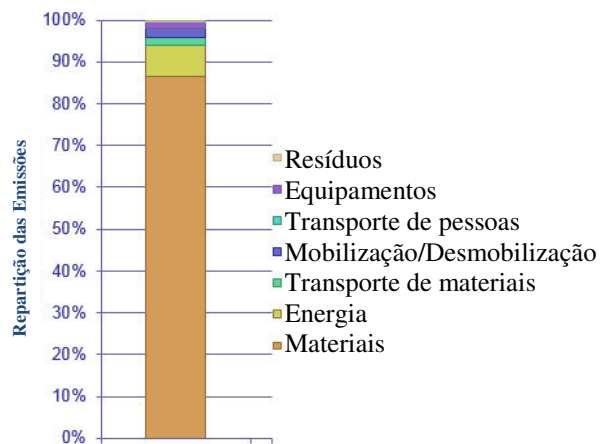


Fig. 4.11. Repartição Percentual das Emissões CEM I (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

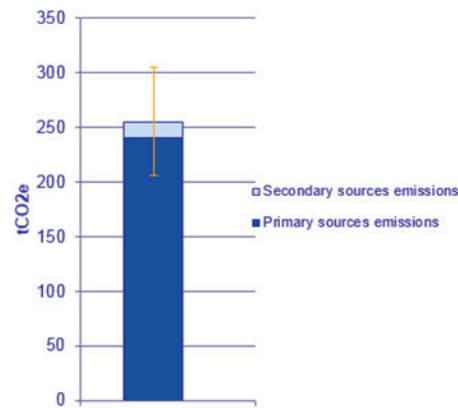


Fig. 4.12. Importância das fontes primárias e secundárias para cada projeto CEM I (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

4.4.2. SOLUÇÃO COM CIMENTO CEM III

No caso da utilização de cimento CEM III, existem grandes alterações nos valores das emissões, apesar do parâmetro relativo ao material continuar a ser mais elevado que os restantes. Em termos numéricos tem-se que 69 tCO₂e são relativos aos materiais em comparação com os 220 tCO₂e do CEM I. Uma vez que neste processo apenas é alterado o tipo de cimento todos os restantes parâmetros, energia, transporte de material, mobilização e desmobilização do estaleiro, transporte de pessoas, equipamentos e resíduos, mantêm os mesmos valores de emissões (Fig. 4.13 e Fig. 4.14). Em termos percentuais o material representa mais que 60% das emissões totais, isto é uma redução de cerca de 20% quando comparado com o caso anterior, enquanto a energia apresenta mais de 15% das emissões totais (Fig. 4.16). O valor total destas, para este caso é de 100 tCO₂e (**Error! Reference source not found.**), mantendo as emissões primárias como maior fonte (Fig. 4.17), sendo estas provenientes dos materiais e da energia.

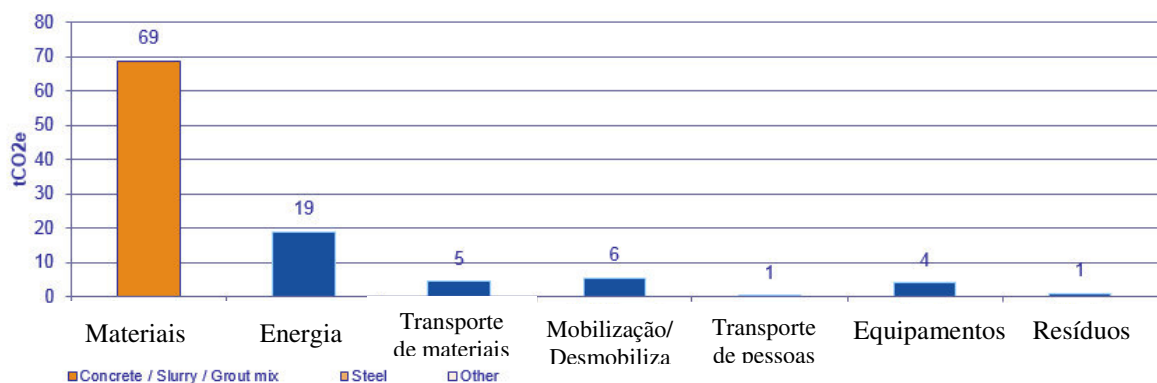


Fig. 4.13. tCO₂e para cada parâmetro do CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

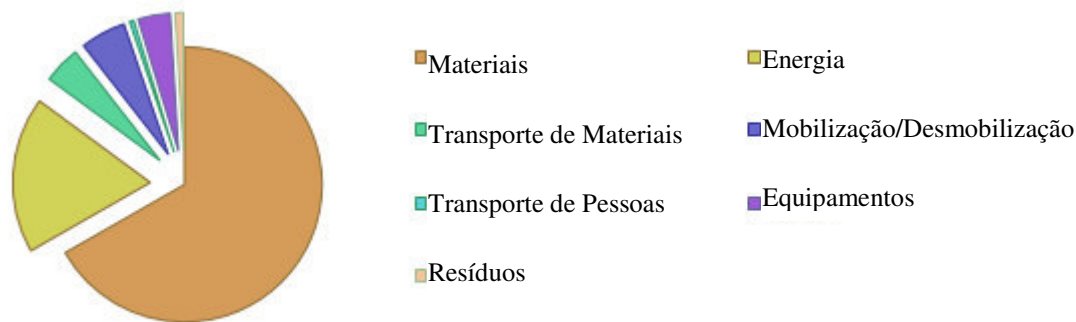


Fig. 4.14. Influência de cada parâmetro no total das emissões CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

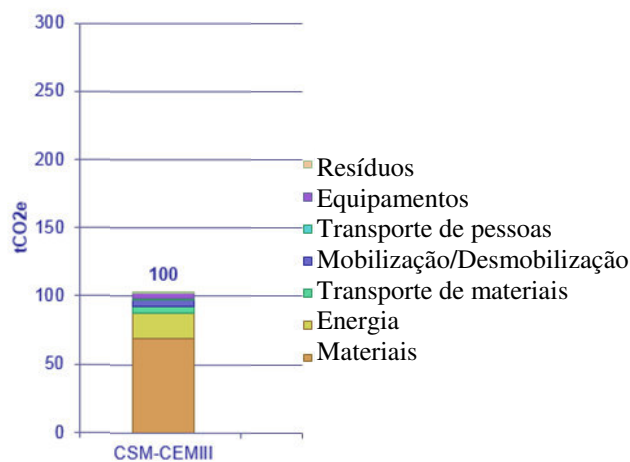


Fig. 4.15. Emissões totais CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

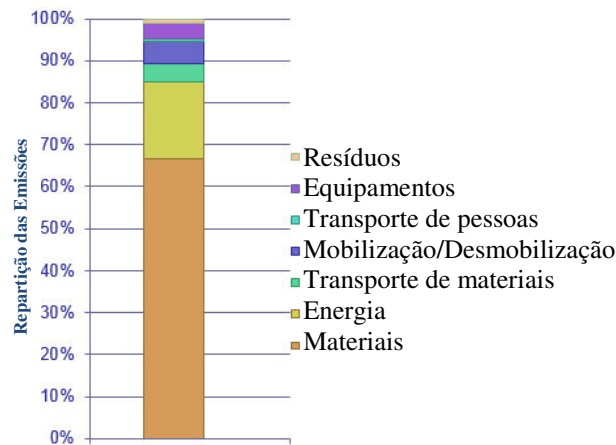


Fig. 4.16. Repartição Percentual da Emissões CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

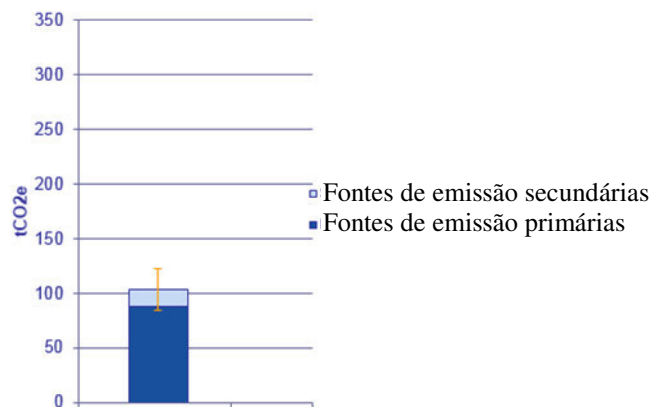


Fig. 4.17. Fontes de emissão CEM III (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

4.4.3. SOLUÇÃO COM AA

O último caso referente à ativação alcalina mostra algumas alterações, mantendo como parâmetro principal os materiais. Neste caso, a calculadora coloca por defeito 1 tCO₂e proveniente do que a esta designa por “concrete” (Fig. 4.18), enquanto o restante aparece como “Other” com um valor total de 110 tCO₂ (Fig. 4.18 e Fig. 4.19). A grande alteração deste caso é a influência do transporte dos materiais que aumenta circunstancialmente sendo o seu valor de 22 tCO₂e, enquanto a energia mantém o seu valor de 19 tCO₂e assim como os restantes parâmetros. Em termos percentuais o parâmetro relativo aos materiais é pouco superior a 60% (Fig. 4.20), sendo a segunda percentagem, aproximadamente 15%, pertencente ao transporte de material e a energia possui uma percentagem de aproximadamente 10%. O valor das emissões totais para este caso é de 160 tCO₂e (Fig. 4.21), os fatores de emissão principais são os primários, contudo neste caso existe um aumento das fontes de emissão secundárias (Fig. 4.22), que neste caso são os materiais e a energia.

A calculadora de carbono possui um sistema que deteta valores que considera excessivos, tendo em atenção a proporcionalidade dos resultados, emitindo um sinal de alerta em que refere qual o parâmetro, que poderá estar errado. Neste caso em particular a calculadora avisa que o transporte de materiais tem um valor alto, contudo é natural que esse valor se encontre assim uma vez que são vários os materiais e que estes são transportados separadamente.

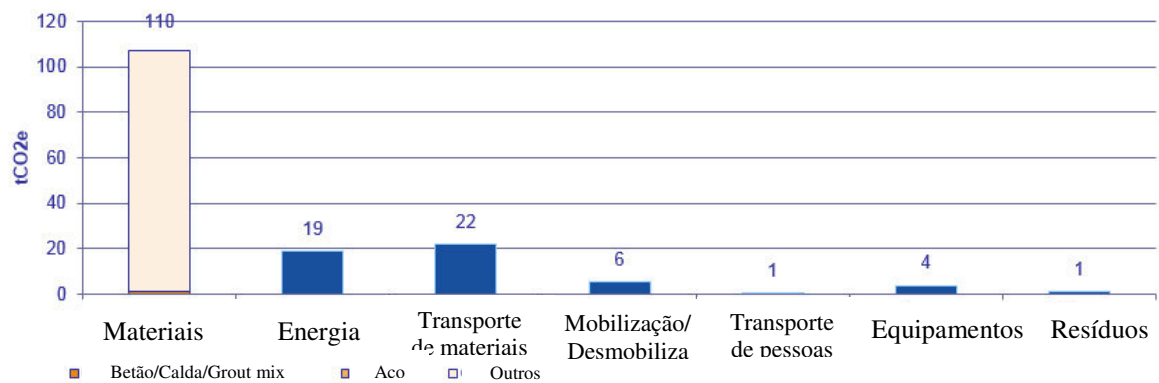


Fig. 4.18. tCO2e para cada parâmetro da Ativação Alcalina (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

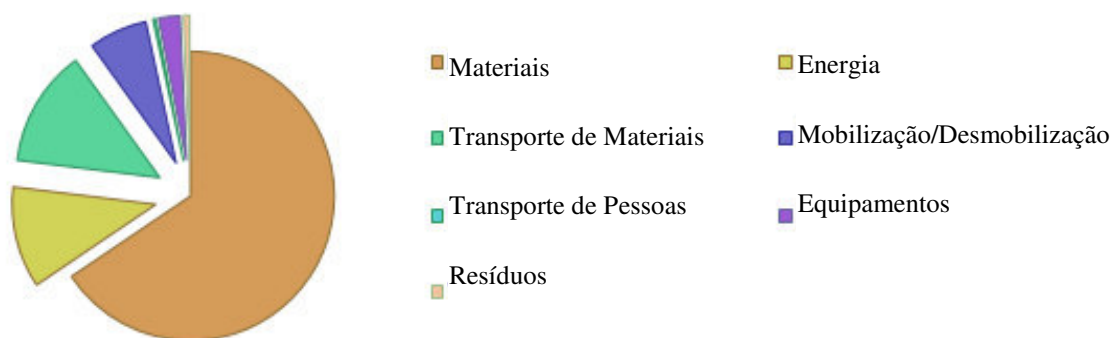


Fig. 4.19. Influência de cada parâmetro no total das emissões da Ativação Alcalina (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

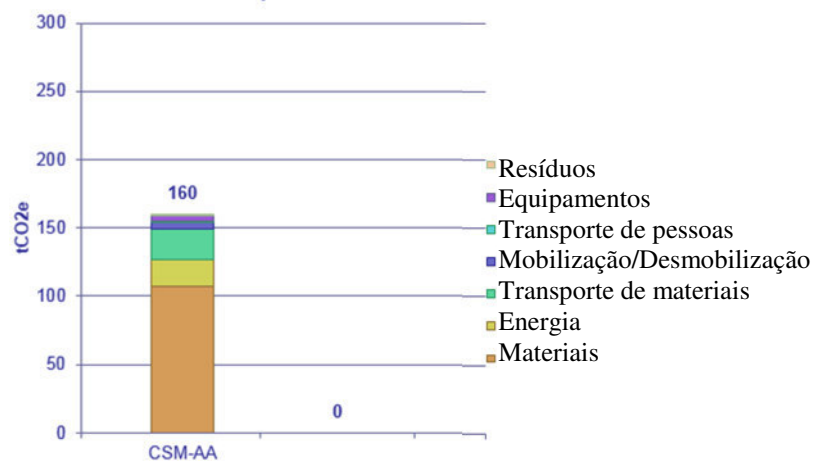


Fig. 4.20. Emissões Totais AA (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

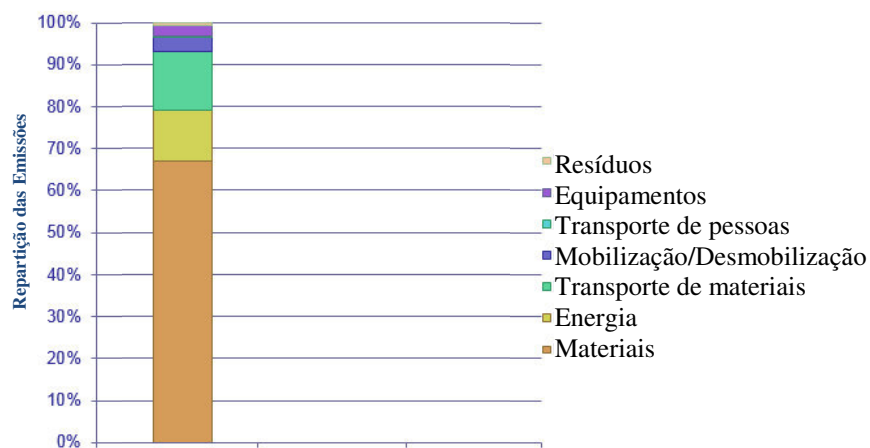


Fig. 4.21. Repartição Percentual das Emissões AA (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

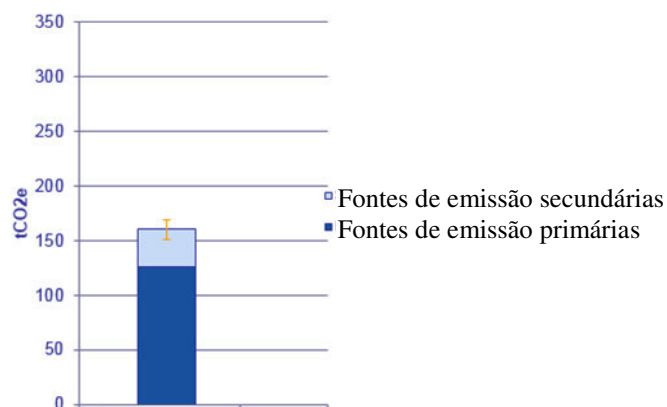


Fig. 4.22. Fontes de Emissão AA (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

4.4.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES

Antes da comparação dos resultados obtidos através da calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4 é importante ter em mente que em termos económicos o uso da ativação alcalina foi a mais desfavorável sendo precedida pelo cimento do tipo três e por último o cimento ordinário.

Deste modo, através da descrição do subcapítulo anterior e dos dados provenientes da calculadora apresentados, podem-se retirar algumas conclusões que vão de encontro aos pressupostos estudados. A solução normalmente tomada, cimento ordinário, apresenta o maior número de emissões e quando comparado em $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{€}$ (Fig. 4.23) verifica-se que possui o maior valor dos três. A segunda opção de cimento do tipo três apresenta os melhores resultados, em termos da relação $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{€}$ e no que diz respeito às emissões, esta apresenta o menor valor dos três casos. A ativação alcalina quanto à relação $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{€}$ possui um valor intermédio como é possível verificar através dos gráficos fornecidos pela calculadora. Neste ultimo caso os seus resultados são intermédios quando comparados com as duas outras soluções.

Equiparando em termos percentuais (Fig. 4.25) os três casos, é possível verificar que o cimento ordinário é o que possui uma percentagem superior nas emissões provenientes dos materiais. E no que se refere aos materiais, a única que abrange uma maior quantidade de materiais distintos é a ativação alcalina (Fig. 4.24).

Após esta comparação é possível concluir que o caso do cimento do tipo três é o melhor em termos de emissões e a sua relação de custo é a mais favorável.

Contudo e tendo em atenção que o custo dos componentes do processo de ativação alcalina varia consoante a grandeza das encomendas e que o seu custo foi obtido através de valores referentes a encomendas de pequenas dimensões, o valor da obra pode baixar.

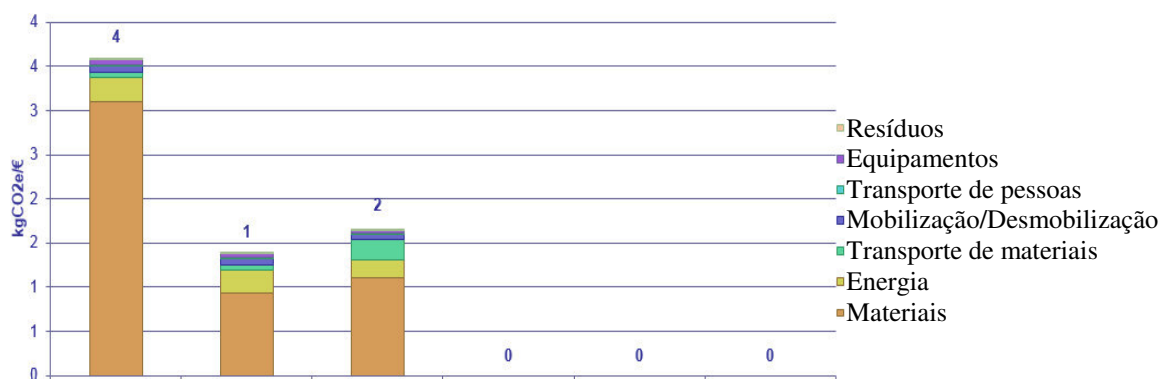


Fig. 4.23. Análise de $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{€}$ (CEM I, CEM III, AA) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

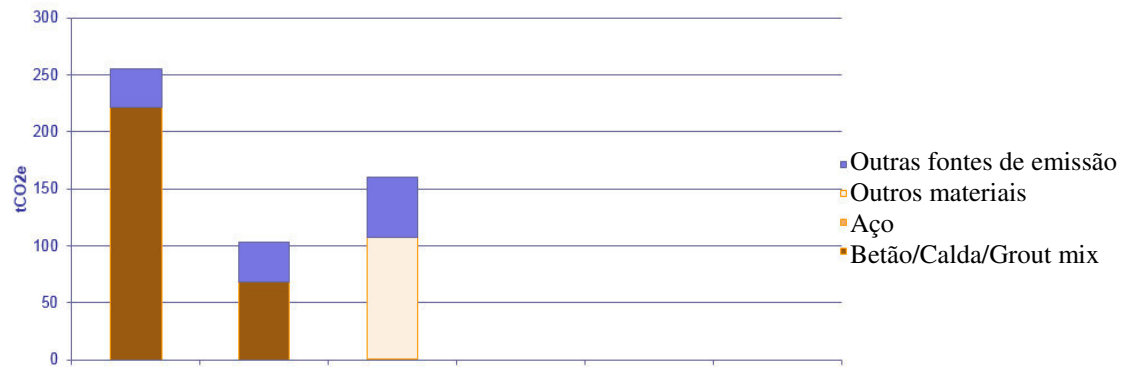


Fig. 4.24. Detalhes dos tipos de materiais (CEM I, CEM III, AA) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

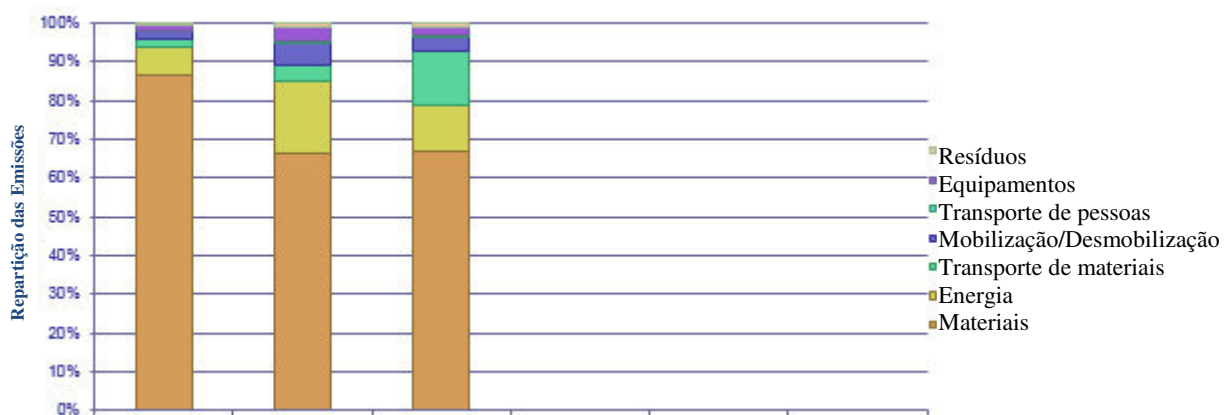


Fig. 4.25. Repartição percentual das emissões (CEM I; CEM III; AA) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Após esta análise é pertinente interrogar o uso do CEM III, que apesar de não ser o mais económico, a sua diferença relativamente ao CEM I é aceitável e é mais amigo do ambiente, não é um material muito utilizado em Portugal e tão pouco é produzido neste país. Uma vez que a diferença entre os vários tipos de cimentos prende-se na percentagem do clinker assim como das adições levam a que cada um tenha propriedades diferentes e a sua escolha tem em consideração o tipo de exposição ambiental, as resistências iniciais entre outros. Por sua vez os cimentos que possuam uma menor percentagem de clinker, levam a emissões menores de CO₂e. E na realidade este estudo levou a confirmação deste facto.

5

OBRA DE CONTENÇÃO

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo procura-se aplicar a calculadora de carbono a uma obra de contenção no distrito do Porto. Esta encontra-se situada a aproximadamente 11km do centro da cidade e está inserida numa zona industrial e comercial.

Este estudo baseia-se apenas na cortina de estacas construída para exercer uma função de contenção, com o intuito de determinar a libertação de CO₂e do seu processo de construção. Esta obra possui vários subprojectos, tornando-se mais complexa por esta razão, dividindo-se em: muro guia, estacas, ancoragens e viga de coroamento. Esta solução aplicada em obra é comparada com uma solução equivalente constituída por paredes moldadas.

5.2. DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA DA OBRA

A cortina de estacas é constituída por três elementos: estacas primárias, estacas secundárias e por último ancoragens (Quadro 5.1). As estacas são secantes e têm um diâmetro de 800mm e uma sobreposição de 200mm. As estacas primárias são constituídas por betão simples com a adição de bentonite em calda, enquanto as estacas secundárias são realizadas em betão armado. Por último as ancoragens, de carácter provisório, têm a função de estabilização da cortina e são colocadas em dois níveis.

Para a execução das estacas primárias recorreu-se ao método de trado contínuo enquanto na realização das estacas secundárias, recorreu-se à vara Kelly e trado/balde.

Para a construção das estacas foi realizado um muro guia em todo o perímetro da obra. Este, para além de garantir o afastamento previsto para os eixos das estacas primárias e secundárias permite também o seu guiamento, reduzindo os desvios de verticalidade que existem sempre neste tipo de trabalhos.

No caso da solução alternativa, a parede moldada é contínua em todo o perímetro da obra. A sua geometria (Quadro 5.1) é adaptada relativamente à cortina de estacas devido às diferentes espessuras. Por exemplo, a parede moldada tem uma espessura inferior ao diâmetro das estacas logo a viga de coroamento não necessitará de ter as mesmas dimensões que a correspondente na solução das estacas.

Para proceder à análise do projeto, com o intuito de obter dados necessários para a calculadora de carbono, teve de se proceder a uma subdivisão deste. Esta divisão em subprojectos recai na génese da calculadora de carbono que analisa o projeto global através destes.

Os dados constituintes do Quadro 5.1 foram obtidos através da análise do projeto da obra de contenção. Contudo houve necessidade de utilizar valores médios para o comprimento das estacas, uma vez que tanto as primárias como as secundárias sofrem variações ao nível da altura ao longo da obra e para as ancoragens cujo comprimento também sofre variações. Já os valores apresentados na segunda coluna

do Quadro 5.1 foram determinados tendo em conta a transição da cortina de estacas para parede moldada.

Quadro 5.1. Caracterização Geométrica da Cortina de Estacas e da Parede Moldada

Caracterização Geométrica				
	Cortina de Estacas		Parede Moldada	
Perímetro da cortina	711,6m		711,6m	
Profundidade média das estacas primárias	9m		-	
Profundidade média das estacas secundárias	12m		-	
Afastamento entre eixo das estacas	1,2m		-	
Profundidade Parede Moldada	-		12m	
Afastamento das ancoragens	[2,4m;6m]		[2,4m;6m]	
Comprimento das ancoragens do 1º nível	14m		14m	
Muro guia duplo	H = 0,8m	L = 0,15m	H = 0,8m	L = 0,15m
Viga de Coroamento	H = 1m	L = 1m	H = 0,8m	L = 0,8m

5.3. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO – OBRA DE ESTACAS

Antes de analisar especificamente cada um dos dados requeridos pela calculadora, é necessário entender primeiro a sequência de trabalhos necessários para a execução da obra e assim entender quais as técnicas necessárias. Tendo em conta que as estacas foram realizadas com tubo moldador recuperável, a sequência dos trabalhos é:

- Realização de um muro-guia duplo;
- Execução das estacas primárias;
- Execução das estacas secundárias;
- Construção da viga de coroamento;
- Realização da escavação até à base do primeiro nível de ancoragens;
- Realização da viga de distribuição;
- Realização dos vários níveis das estacas;
- Execução do primeiro nível de ancoragens;
- Realização do processo f, g e i até à cota de projeto.

No que diz respeito ao muro guia, utilizado para a colocação do equipamento na posição exata, este pode ser realizado com dois tipos de cofragem: semicircunferências; ou lisas (Fig. 5.1); e o material da cofragem pode ser de madeira, metal ou poliestireno expandido (Fig. 5.2).



Fig. 5.1. Muros guia retos



Fig. 5.2. Cofragem em Poliestireno Expandido (CORDEK, 2014)

Neste caso o muro guia foi realizado com uma cofragem em semicircunferência do lado interior, como é possível ver na Fig. 5.3, este deve-se à forma circular das estacas. De modo a permitir a introdução das estacas secundárias foi necessário cortar às primárias cerca de 20cm de cada lado. É então realizada uma escavação com a altura pretendida para o muro guia e uma distância entre as faces interiores da cofragem que tenha em conta a espessura das estacas com o acréscimo de uma folga para que o equipamento seja colocado.

Para a sua execução colocam-se as cofragens e de seguida a armadura para ser posteriormente betonado. Através da Fig. 5.3 é possível verificar que a betonagem será realizada entre a cofragem e o terreno de modo que será necessário uma percentagem extra na determinação do betão a utilizar. Como procedimento final realiza-se um escoramento das paredes do muro-guia.



Fig. 5.3. Muro Guia (CORDEK, 2014)

De seguida será abordado o processo de execução das estacas onde as estacas primárias secantes foram executadas pelo método do trado contínuo (Fig. 5.4) de 800mm e as secundárias com vara kelly e trado/balde foram realizadas utilizando um polímero para estabilização do furo quando necessário, uma vez que o nível freático se encontrava a cerca de 4m de profundidade. A colocação do primeiro troço de entubamento temporário (Fig. 5.5) para depois realizar a furação no interior deste, será feita através da cravação com a unidade de rotação da máquina, que roda e pressiona o tubo para baixo, continuando-se este processo até atingir a cota determinada no projeto. De seguida retira-se a vara e o balde ou trado. Para o caso das estacas secundárias será a altura de colocação das armaduras para depois se proceder à betonagem, que será executada através de um funil de betonagem, este método deve-se ao facto de nesta obra ter existido a possibilidade de betonagem a seco, ou seja, não houve necessidade de realizar a betonagem com tubo tremie, que é uma técnica que se usa em betão submerso. Para terminar a execução das estacas começa-se por retirar a coluna de revestimento por troços, acabando a betonagem assim que se removerem todos os troços destes tubos.



Fig. 5.4. Trado contínuo



Fig. 5.5. Entubamento Temporário



Fig. 5.6. Varas Kelly



Fig. 5.7. Trado Progressivo

Após a realização das estacas executa-se a viga de coroamento, mas para esse efeito é preciso, em primeiro lugar, proceder à demolição do topo das estacas (Fig. 5.8). De seguida coloca-se a cofragem para que se possa colocar a armadura e finalmente betonar.



Fig. 5.8. Estacas saneadas (EFFC, E.F.o.F.C.-. 2014)

Por último, é necessário esclarecer o procedimento de execução das ancoragens. Sendo estas provisórias apenas desempenham uma função resistente num período limitado de tempo. Se as ancoragens forem em maciços terrosos o bolbo de selagem tem de ser realizado através de injeções de cimento sob pressão, enquanto nos maciços rochosos não existe pressão. O tipo de furação também pode variar, existindo quatro processos de execução: a roto-precursão com injeção de água que ajuda à saída dos detritos, o mesmo tipo que o anterior mas com recurso a um entubamento recuperável roto-precursão com auxílio de ar comprimido e por último rotação. A furação é executada após a implantação dos eixos das ancoragens, e só é terminada quando atingir a profundidade prevista. Após ser executado introduz-se um tubo metálico que possui válvulas antirretorno no comprimento correspondente ao bolbo de selagem da ancoragem, pelo que no restante comprimento é liso. As válvulas de antirretorno encontram-se afastadas entre si, em norma, 1 metro, para se poder proceder às injeções com caldas resistentes de cimento. É então realizada a primeira injeção, através da válvula inferior do tubo de aço, de modo a preencher com, calda resistente, o espaço anelar que se situa entre a parede do furo e a face exterior do tubo que se colocou.

Um dia após o ocorrido, realiza-se em fases sucessivas de baixo para cima a injeção com calda de cimento através das válvulas da armadura tubular, sendo esta injeção realizada com auxílio de um obturador duplo (Fig. 5.9), que permite isolar a válvula a utilizar. É realizada apenas uma injeção por dia, sendo que caso haja problemas no estabelecimento do bolbo de selagem, este número pode aumentar.



Fig. 5.9. Obturador duplo no parque operacional da Teixeira Duarte (fotografia pessoal)

As pressões de injeção são controladas através de manómetros de pressão que são colocados na frente de injeção. As operações de injeção terminam quando são atingidas as pressões de injeção cerca de 30 a 40 kg/cm² no máximo, que variam consoante a profundidade e disposição dos estrados e fissuração do terreno.

Após a conclusão da execução do bolbo de selagem procede-se à introdução de armadura no interior do tubo metálico, anteriormente referido. Utilizam-se para tal centralizadores de plástico, distanciados de cerca de um metro, ao longo do comprimento do bolbo de selagem. A armadura é formada por cordões sem proteção de alta resistência e após a sua colocação é efetuada a selagem dos cordões com o

enchimento do interior do tubo metálico com calda. Ao terminar este processo passa-se então para a colocação da cabeça metálica e respectivas cunhas de fixação dos cordões. Passados dois ou três dias é realizado o pré-esforço com o auxílio de um macaco hidráulico (Fig. 5.11).



Fig. 5.10. Cabos de Ancoragem



Fig. 5.11. Macaco hidráulico

5.4. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO – PAREDE MOLDADA

Todo o processo construtivo de muros guia, viga de coroamento e ancoragens é semelhante para o caso da execução da parede moldada. Deste modo, neste subcapítulo, apenas será abordada a construção da parede moldada.

A execução desta é realizada 3 dias após a conclusão do muro guia, começando com a escavação dos painéis de parede moldada como auxílio de uma grua de rastos que contém acoplado um balde escavador de maxilas hidráulico (Fig. 5.12) ou de cabos. Estes estarão suspensos por varas Kelly telescópicas múltiplas para o caso do uso de um balde hidráulico ou por cabos para o caso de balde de cabos.

Existem dois tipos de possibilidades para realização dos painéis, estes podem ser realizados de forma faseada através de painéis primários e secundários ou podem ser executados através de painéis sucessivos ou seja contíguos. Para assegurar a estabilidade da escavação o painel é preenchido com fluídos, lamas bentoníticas ou polímeros, sendo que o seu nível deve ser superior aos limites do muro guia, de forma a garantir que se encontra 1m acima da água no terreno. Procede-se de seguida à limpeza do fundo da escavação, sendo que para o caso do fluido estabilizador ser constituído por lamas bentoníticas pode-se proceder à reciclagem destas, ou seja, à substituição de lamas contaminadas. A reciclagem procede-se da seguinte forma, através da boca da escavação são introduzidas no painel lamas bentoníticas novas. As lamas que se encontrem no painel serão bombadas, através de uma coluna metálica rígida, do fundo da escavação até à superfície, sendo que o processo de introdução das lamas novas e a bombagem das lamas usadas ocorre ao mesmo tempo. Após o desarenamento as lamas bentoníticas já usadas podem ser reutilizadas. Este desarenamento tem o intuito de remover as partículas de solo existentes para que possam ser armazenadas. Por último antes de serem utilizadas estas lamas recicladas devem passar por um controle de modo a que caso as suas características estejam alteradas, possam ser previamente corrigidas.

Após o término das escavações procede-se à colocação das juntas metálicas (Fig. 5.13), que podem ser tubos ou estacas-prancha, que permitem limitar o painel a betonar, permitindo assim as ligações estruturais entre os vários painéis. De seguida para se poder proceder com os trabalhos, realiza-se a limpeza do fundo da escavação.

A armadura é colocada no interior da escavação, de forma a não ser necessária a realização de empalmes durante a sua inserção. É necessário inseri-la de uma só vez, podendo ser realizada em troços de 12 metros de altura ou com a altura total. Só é possível a aplicação de outras alturas nos casos em que as profundidades dos painéis assim o requeiram ou devido à capacidade da grua que se encontra em obra.

A armadura terá de se encontrar a 20cm do fundo da escavação, para que tal ocorra será necessária a aplicação de uma armadura auxiliar de suspensão para a manter suspensa durante a ocorrência da betonagem. Para que a armadura não entre em contacto com o solo envolvente, são colocados espaçadores e nos locais onde se vão inserir as ancoragens devem-se encontrar negativos metálicos.

Por fim realiza-se a betonagem sendo o preenchimento do furo realizado de modo progressivo, de baixo para cima.



Fig. 5.12. Balde de Maxilas



Fig. 5.13. Juntas Metálicas

5.5. DADOS REQUERIDOS PELA CALCULADORA

5.5.1. CORTINA DE ESTACAS

A cortina de estacas do projeto em causa é constituída por vários subprojectos, tornando a sua avaliação num processo mais complexo do que o capítulo da cunha de transição. As quantidades de trabalhos expostas no Quadro 5.2 encontram-se divididas por subprojectos apresentando todos os materiais principais assim como as suas quantidades. Todos os valores apresentados no Quadro 5.2 foram obtidos

com base no projeto, o facto de não se possuir o mapa de quantidades levou a necessidade de homogeneizar as soluções optando pelas situações mais gravosas. Foi o caso do peso total da armadura, a qual foi escolhida a combinação que levava a resultados mais elevados (Ferreira, M., 2014).

Quadro 5.2. Quantidades de Trabalhos da obra de estacas

Quantidades de trabalhos		
Muros Guia duplos	Betão	270,41 m ³
	Cofragem	1094,25 m ²
	Armadura	23852,83 kg
Estacas Primárias	Comprimento Total	5337 m
	Volume de betão com bentonite	2290,12 m ³
Estacas Secundárias	Comprimento Total	7116 m
	Volume de betão	4292,27 m ³
	Armadura (Aço A500NR)	230277 kg
	Volume de Betão	889,5 m ³
Viga de Coroamento		1218 m ²
	Cofragem	7,3 m ³ (volume de madeira)
	Armadura (Aço A500NR)	34918,23 kg
Ancoragens	Comprimento total escavação	7294 m
	Comprimento total Varões	7815 m
	Cabos de pré-esforço (0.6")	34198,44 kg
	Cabeças das ancoragens	7815kg

No Quadro 5.3 encontram descritos com mais detalhe os componentes e as suas respectivas quantidades para os diferentes tipos de betão que foram utilizados para a execução de cada subprojecto. Relativamente à composição do betão para a viga de coroamento e para o muro guia, este será considerado semelhante ao das estacas primárias retirando o adjuvante e a bentonite.

Quadro 5.3 Materiais para a obra de estacas

Materiais (composição do betão)		
Estacas primárias	Cimento CEM I42,5 N	370kg/m ³
	Brita 12/20	424kg/m ³
	Brita 5/15	522 kg/m ³
	Areia média	887kg/m ³
	Adjuvante	4.5kg/m ³
	Água	163l/m ³
	Bentonite	30kg/m ³
Estacas Secundárias	Cimento CEM I42,5 N	370kg/m ³
	Brita 12/20	424kg/m ³
	Brita 5/15	522 kg/m ³
	Areia média	887kg/m ³
	Adjuvante	4.5kg/m ³
	Água	163l/m ³
	Polímero	0,7kg/m ³
Ancoragens	Cimento CEM II/CL 32,50	2444,62kg/m ³
	Aditivo fluidificante	122,23kg/m ³
	Tubos metálicos antirretorno	334,91kg/m ³

Cada subprojecto levou à necessidade de produção de resíduos (Quadro 5.4) que são provenientes da escavação do muro guia, das estacas e a demolição ou saneamento de betão para o caso do muro guia e do topo das estacas, respetivamente.

Quadro 5.4. Resíduos – Estacas

Resíduos	
Escavação Muro Guia	1430,32 ton
Escavação das Estacas	13216,30 ton
Demolição do muro guia	417,00 ton
Demolição do coroamento das estacas	612,17 ton

Como já foi mencionado para o capítulo da cunha de transição, um dos elementos necessários para o cálculo das emissões de CO₂ é a determinação do tempo de execução da obra, mais especificamente de cada subprojecto. No quadro abaixo (Quadro 5.5) encontra-se representado o rendimento de cada subprojecto assim como a duração de cada um.

Quadro 5.5. Planeamento da execução das estacas

Planeamento		
	Rendimento	Total
Execução de muros guia	20 m/d	36 dias
Execução de estacas primárias	15 x 9 =135 ml/dia	40 dias
Execução de estacas secundárias	96 ml/dia	75 dias
Execução de ancoragens	105 m/dia	70 dias
Execução de vigas de coroamento	20 m/dia	21 dias
Demolição do coroamento das estacas	5 m³/dia	51 dias
Estaleiro		6 dias
Total		299 dias

Através do Quadro 5.5 procedeu-se à criação do cronograma (Fig. 5.14) relativo a obra de contenção, de cortina de estacas. O tempo de execução do estaleiro é semelhante ao do necessário para a obra da cunha de transição, uma vez que apesar de não ter necessidade de produção de cimento, para o caso da execução das estacas primárias, será utilizada bentonite, pelo que é fundamental uma central de bentonite. Para o descarregamento dos restantes equipamentos é apenas necessário um a dois dias. O cronograma avalia o tempo em relação aos meses, dividindo-se cada mês pelo número de semanas, em média quatro, deste modo é de salientar que a colocação da montagem do estaleiro encontra-se representada através de uma semana, o que é meramente representativo, uma vez que apenas são necessários quatro dias.

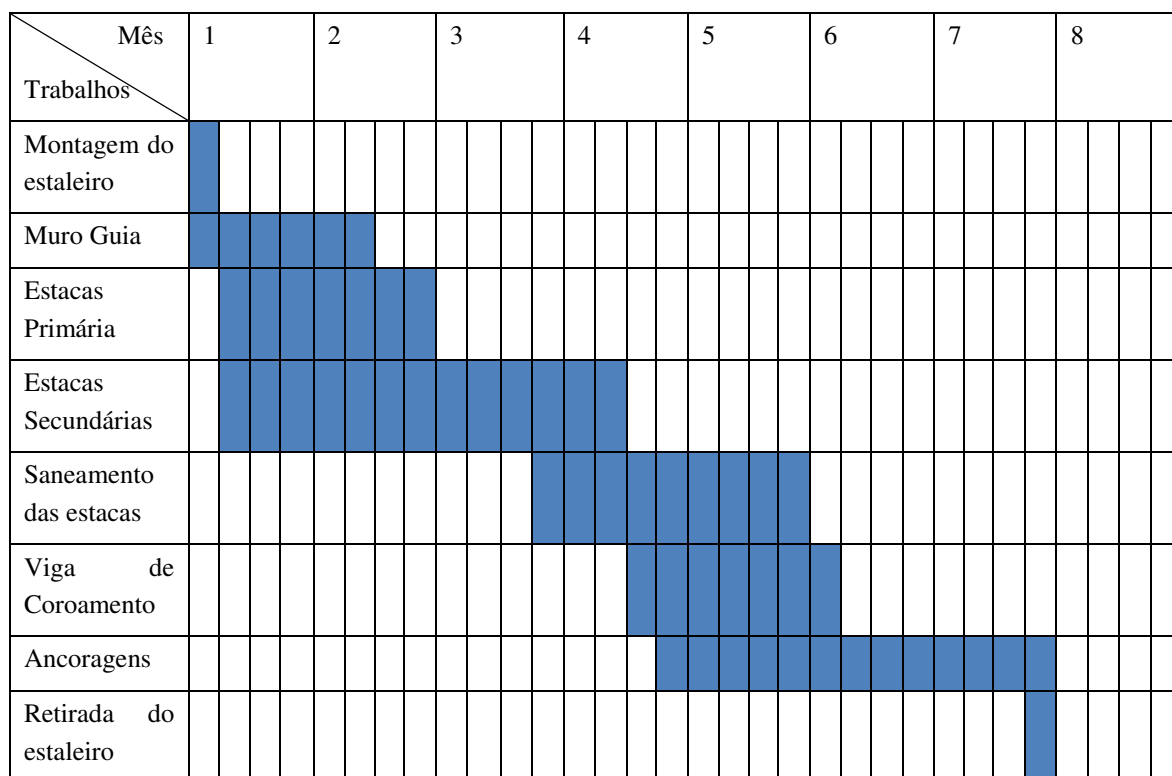


Fig. 5.14. Cronograma execução do projeto de execução das estacas

Para este tipo de obras os equipamentos possuem um peso elevado nas emissões, uma vez que com os vários subprojectos existentes aumenta o seu número, elevando assim o consumo de combustíveis e o seu desgaste. No Quadro 5.6 estão indicados todos os equipamentos necessários para o desenvolvimento da obra, a sua definição foi realizada através do estudo das diferentes etapas do seu processo de execução.

Quadro 5.6. Equipamento – Execução das estacas

Equipamento			
Fase da obra	Equipamento	Peso (ton)	Consumo (l)
Estacas Primárias	Equipamento de furação Bauer BG22H	70	498
	Grua de apoio Ruston 38RB	111	400
	Bomba de betão	8,5	98
	Trados contínuos	3,99	-
Estacas Secundárias	Equipamento de furação Bauer BG22H	70	498
	Equipamento de furação Bauer BG30	94	938
	Grua de apoio Ruston 38RB	111	400
	Tubo guia com 4m de comprimento (3.14*0.8*0.02*7850*4x12)	18,93	-
	Trado 800mm	500x2	-
	Balde 800mm	650x2	-
	Tanques de 20m3	500x2	-
Ancoragens	Prensa de injeção/misturadora do tipo Unigrout E200	2,5	57
	Sondas Klemm 803/ Klemm 805	14	170
	Bombas Tridô	1,7	16
	Macaco de pré-esforço	0,1	5
	Martelos hidráulicos	0,4	
Regularização e carga dos produtos provenientes de furação e escavação	Retroescavadora	11	93
Demolição da cabeça das estacas	Compressor Martelos tipo Tex30 (3 un)	1	220
Estaleiro	Retroescavadora	11	93

O consumo em litros de combustível (Quadro 5.7), para este tipo de obras tem de ser calculado por subprojectos, uma vez que a calculadora o avalia deste modo. No Quadro 5.8 encontra-se a indicação das equipas de pessoal necessárias para a realização dos vários trabalhos.

Quadro 5.7. Consumo para a realização das estacas

Consumo	
Trabalho	Diesel (l)
Estacas Primárias	35539,31
Estacas Secundárias	144650,20
Ancoragens	17385,42
Muro Guia	6863,14
Viga de Coroamento	20348,78

Quadro 5.8. Equipa para a execução de estacas

Equipas	
Execução de muros guia	1 equipa de 4 oficiais
Execução de estacas primárias	1 equipa: <ul style="list-style-type: none"> • 2 manobreadores • 1 cimenteiro • 2 ajudantes
Execução de estacas secundárias	1 equipa: <ul style="list-style-type: none"> • 4 manobreadores • 1 cimenteiro • 4 ajudantes (a armadura é pré-fabricada fora da obra pelo que não foram contabilizados os respetivos oficiais)
Execução Ancoragens	1 equipa: <ul style="list-style-type: none"> • 2 manobreadores • 3 injetores • 2 cimenteiros • 6 ajudantes
Execução de vigas de coroamento	1 equipa de 4 oficiais
Demolição do coroamento das estacas	1 equipa de 3 oficiais
Estaleiro	1 equipa: <ul style="list-style-type: none"> • 2 encarregados • 1 apontador • 1 manobreador • 2 auxiliares

5.5.2. PAREDE MOLDADA

A segunda hipótese para o modelo construtivo é referente há troca das estacas por uma parede moldada, todos os restantes subprojectos serão mantidos apenas com algumas alterações, que provêm da necessidade de se ajustarem à nova geometria. Os resultados deste ajustamento encontram-se demonstrados no Quadro 5.9, o único elemento que se mantém constante nestas duas obras são as ancoragens que não necessitaram de nenhuma alteração. A adequação da armadura à nova estrutura foi obtida através da determinação do momento fletor a que as estacas se encontram expostas, calculando de seguida a armadura tendo em conta as novas dimensões.

Quadro 5.9. Quantidades de Trabalhos - Parede Moldada

Quantidades de trabalhos		
Muros Guia duplos	Betão	213,48 m ³
	Cofragem	1138,56 m ²
		6,83 m ³
	Armadura	23851 kg
Parede Moldada	Área Total	8539,2 m ²
	Volume de betão com bentonite	4098,82 m ³
	Armadura (Aço A500NR)	195181,2 kg
Viga de Coroamento	Volume de Betão	455,42 m ³
	Cofragem	1138,56 m ²
		6,83 m ³ (volume de madeira)
	Armadura (Aço A500NR)	34918,23 kg
	Comprimento total escavação	7294 m
Ancoragens	Comprimento total Varões	7815 m
	Cabos de pré-esforço (0.6")	34198,44 kg
	Cabeças das ancoragens	7815 kg

O material da parede moldada é semelhante ao das estacas, ao diminuir o número de subprojectos, apenas serão necessários dois tipos de betões um para a parede moldada e outro para o muro guia e viga de coroamento como é possível observar no Quadro 5.10.

Quadro 5.10. Materiais -Parede Moldada

Materiais (composição do betão)		
Parede Moldada	Cimento CEM I42,5 N	370 kg/m ³
	Brita 12/20	424 kg/m ³
	Brita 5/15	522 kg/m ³
	Areia média	887 kg/m ³
	Adjuvante	4,5 kg/m ³
	Água	163 l/m ³
	Bentonite	30 kg/m ³
Viga de Coroamento e Muro Guia	Cimento CEM I42,5 N	370 kg/m ³
	Brita 12/20	424 kg/m ³
	Brita 5/15	522 kg/m ³
	Areia média	887 kg/m ³
	Água	163 l/m ³

No que se refere aos resíduos, o facto da geometria ter sido alterada leva a que os valores destes também tenham sido modificados. O Quadro 5.11 apresenta os novos valores para este tópico.

Quadro 5.11. Resíduos - Parede Moldada

Resíduos	
Escavação Muro Guia	910,2 ton
Escavação das Parede Moldada	5573 ton
Demolição do muro guia	417 ton
Demolição do coroamento da parede moldada	348 ton

O planeamento é também alterado devido ao diferente rendimento da técnica da parede moldada relativamente à da execução das estacas, assim como da alteração das dimensões relativas aos subprojectos, foi portanto necessário definir um novo plano que se pode visualizar no Quadro 5.12.

Quadro 5.12 Planeamento - Parede Moldada

Planeamento		
	Rendimento	Total
Execução de muros guia	20 m/dia	36 dias
Execução de Parede Moldada	70 m ² /dia	122 dias
Execução de ancoragens	105 m/dia	70 dias
Execução da viga de coroamento	20 m/dia	36 dias
Demolição do coroamento da parede moldada	5 m ³ /dia	29 dias
Estaleiro	3 dias(montar/desmontar)	6 dias
Total		299 dias

Da mesma forma que se procedeu para o caso do projeto da execução das estacas, também para este caso se recorreu à execução de um cronograma de modo a melhor se compreender o procedimento e tempo de obra. A grande diferença entre este cronograma e o anterior prende-se no tempo de execução da parede moldada, que apesar de ter dimensões menores que as das estacas, possui um rendimento inferior, levando à necessidade de mais tempo para a sua execução. Também para este caso, o cronograma foi executado tendo em conta os meses, sendo que o tempo de instalação do estaleiro é meramente representativo, uma vez que não ocupa uma semana. O tempo de trabalho foi considerado 8 horas por dia, 22 dias por mês, o cronograma relativo a sua construção é possível de ser analisado através da Fig. 5.15

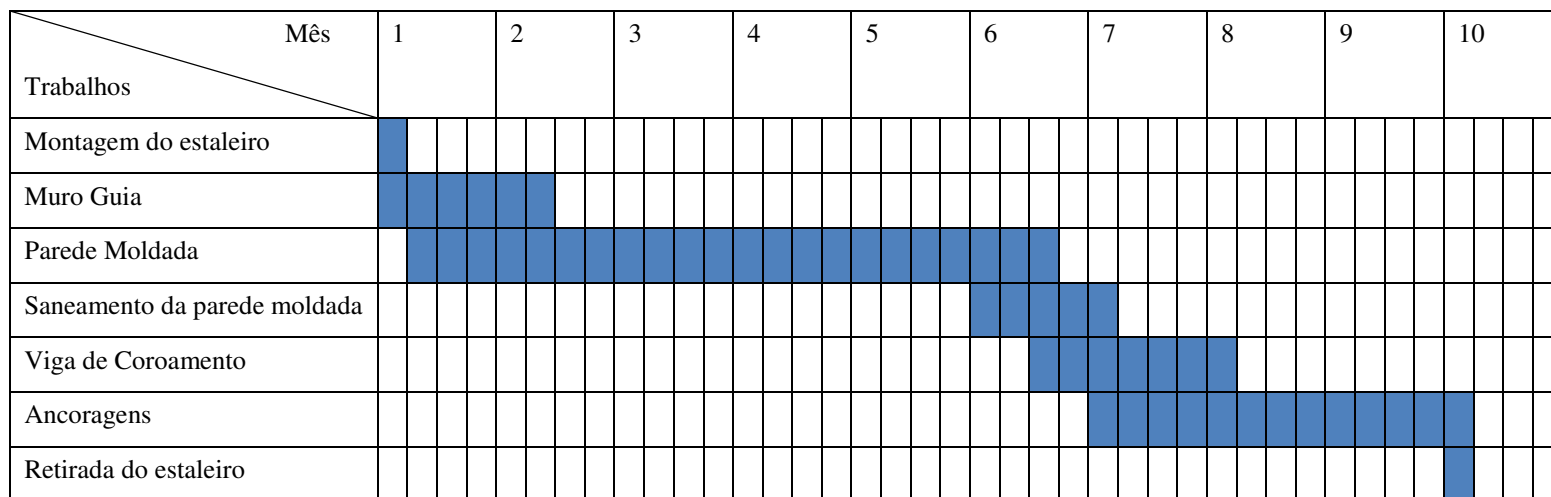


Fig. 5.15. Cronograma da Construção do projeto de parede moldada

Mais uma vez, é essencial salientar que para além da alteração da técnica existe uma alteração em praticamente todos os pormenores que abranjam o subprojecto dedicado a esta. No que diz respeito aos equipamentos não é exceção, ou seja neste tópico serão utilizados todos os equipamentos exceto os que são necessários para a execução das estacas, que serão alterados pelos da parede moldada (Quadro 5.13). Uma vez que se dá esta alteração, o consumo também altera (Quadro 5.14), não só pelos novos rendimentos mas também pela alteração do tempo de execução de cada subprojecto. O mesmo se pode referir às equipas necessárias para a execução deste projeto, apenas é alterado, quando comparado com o projeto das estacas, o que diz respeito ao subprojecto específico da parede moldada (Quadro 5.15). Uma vez que para os restantes subprojectos apenas tiveram as suas dimensões alteradas, não leva a qualquer tipo de alteração no número de trabalhadores, uma vez que o que determina este número é o processo de execução.

Quadro 5.13. Equipamento - Parede Moldada

Equipamento			
Fase da obra	Equipamento	Peso (ton)	Consumo
Parede Moldada	Grua Liebherr 835	60	353 l
	Grua Liebherr 825	54	261 l
	Desarenadora DS150	5,1	34 kWh
	Misturadora	1,5	22 kWh
	Grua hidráulica link Belt 280	50	332 l
	Benne 400mm	0,4	
	Bomba de betão	8,5	98 l
Ancoragens	Prensa de injeção/misturadora do tipo Unigrout E200	2,5	57 l
	Sondas Klemm 803/ Klemm 805	14	170 l
	Bombas Tridô	1,7	16 l
	Macaco de pré-esforço	0,1	5 l
	Martelos hidráulicos	0,4	
	Cabeças e Respetivas Cunhas de fixação da Armadura	7,8	
Regularização e carga dos produtos provenientes de furação e escavação	Retroescavadora	11	93 l
Demolição da cabeça das estacas	Compressor para os Martelos tipo Tex30 (3 un)	1	220 l
Estaleiro	Retroescavadora	11	93 l

Quadro 5.14. Consumo total para a execução da parede moldada

Consumo		
	Diesel (l)	Elétrico (kWh)
Muro Guia	6863,136	
Parede Moldada	127401,6	306073,6
Viga de Coroamento	13928,64	
Ancoragens	17385,42	

Quadro 5.15. Equipas - Parede Moldada

Equipas	
Execução de muros guia	1 equipa de 4 oficiais
Execução da Parede moldada	1 equipa: <ul style="list-style-type: none"> • 2 manobreadores • 1 cimenteiro • 3 ajudantes (a armadura é pré-fabricada fora da obra pelo que não foram contabilizados os respetivos oficiais)
Execução Ancoragens	1 equipa: <ul style="list-style-type: none"> • 2manobreadores • 3 injetores • 2 cimenteiros • 6 ajudantes
Execução de vigas de coroamento	1 equipa de 4 oficiais
Demolição do coroamento das estacas	1 equipa de 3 oficiais
Estaleiro	1 equipa: <ul style="list-style-type: none"> • 2 encarregados • 1 apontador • 1 manobreador • 2 auxiliares

5.6. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA CALCULADORA

Todos os resultados abordados neste subcapítulo provenientes da calculadora de carbono serão também apresentados no anexo A2.

5.6.1. SOLUÇÃO DA CORTINA DE ESTACAS

O projeto executado, em que considera estacas como sistema de contenção, apresenta como fator principal de emissões os materiais sendo que o seu valor de emissão é de 3500 tCO₂e (Fig. 5.16) isto é 76% (Fig. 5.17) das emissões totais. Estes valores foram obtidos através da calculadora, que mostra também que o segundo parâmetro que mais liberta CO₂e é a energia cuja percentagem situa-se nos 17% cerca de 810 tCO₂e. Existem contudo dois parâmetros cuja influência percentual no conjunto dos subprojectos é desprezável, nomeadamente o transporte de pessoas e a mobilização e desmobilização, cujas suas emissões em tCO₂e são de 11 e 14 respetivamente.

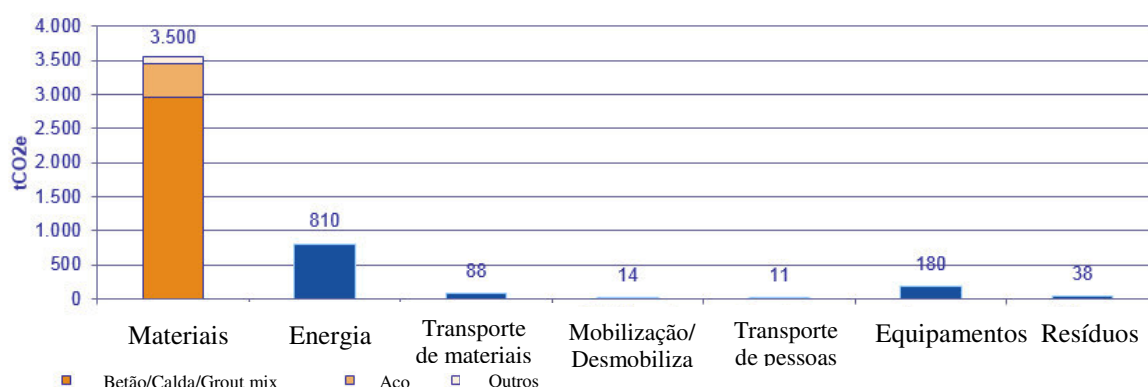


Fig. 5.16. Valores das emissões de cada parâmetro das estacas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

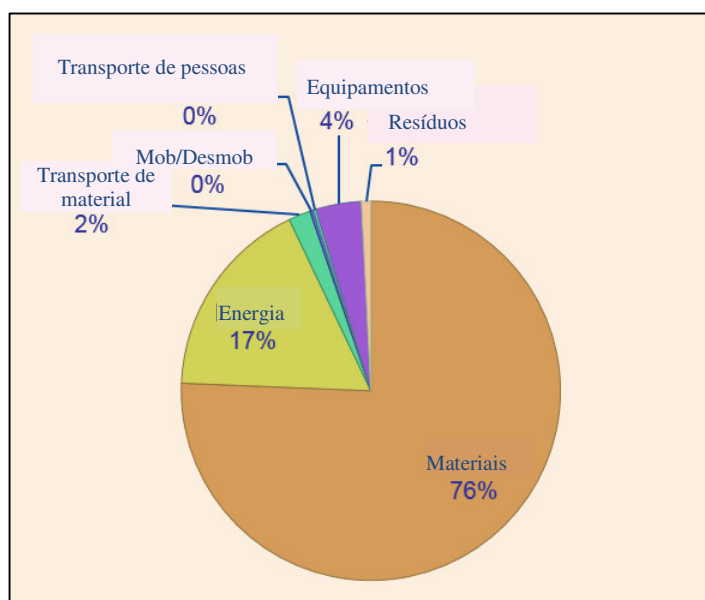


Fig. 5.17. Peso percentual das emissões de CO₂e das estacas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

5.6.2. SOLUÇÃO DA PAREDE MOLDADA

Para o caso proposto, referente à parede moldada, os valores de influência percentual não variam significativamente como se pode visualizar na Fig. 5.19, mais uma vez os materiais revelam-se como o parâmetro que mais emissões produz 2400tCO₂e (Fig. 5.18), seguida da energia de 710 tCO₂e que correspondem respetivamente a 73 e 22%. Também neste caso em termos percentuais a mobilização e desmobilização e transporte de pessoas possuem uma percentagem nula.

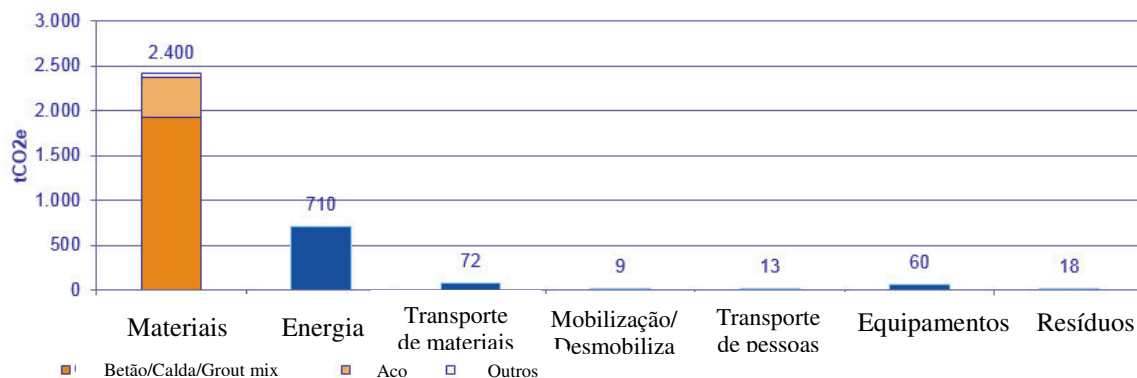


Fig. 5.18. Valores das emissões de cada parâmetro das paredes moldadas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

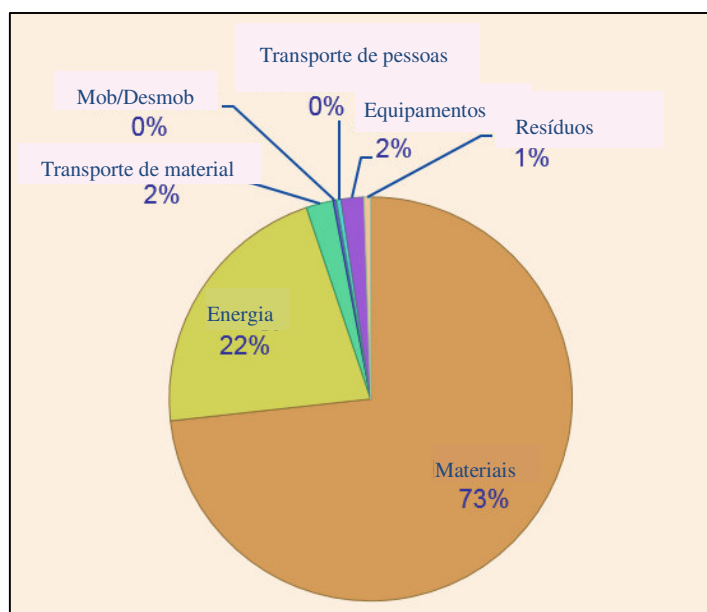


Fig. 5.19. Peso percentual das emissões de CO₂e das paredes moldadas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

5.6.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS SOLUÇÕES

Tendo em consideração as dimensões de cada infraestrutura e verificando os valores das quantidades de cada material e até analisando a quantidade de equipamentos necessários para a execução de cada, os gráficos obtidos através da calculadora de carbono, apresentam valores expectáveis.

A Fig. 5.21 apresenta as emissões totais de cada projeto e através deste é possível realizar várias comparações. A comparação entre as emissões de cada solução permite verificar um desfasamento de 1400 tCO₂e entre as duas, sendo a parede moldada a que emite menos CO₂e. Pode-se ainda verificar, como já foi mencionado anteriormente que as emissões percentuais de cada parâmetro no total da obra são bastante semelhantes. No entanto, os equipamentos utilizados demonstram uma diferença mais significativa uma vez que são necessários mais equipamentos para realizar a cortina de estacas do que para realizar a parede moldada. Tanto a Fig. 5.20 como a Fig. 5.21 mostram que no caso da parede moldada a energia toma uma importância relativamente superior ao das estacas.



Fig. 5.20. Comparação percentual das emissões das estacas e parede moldada (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

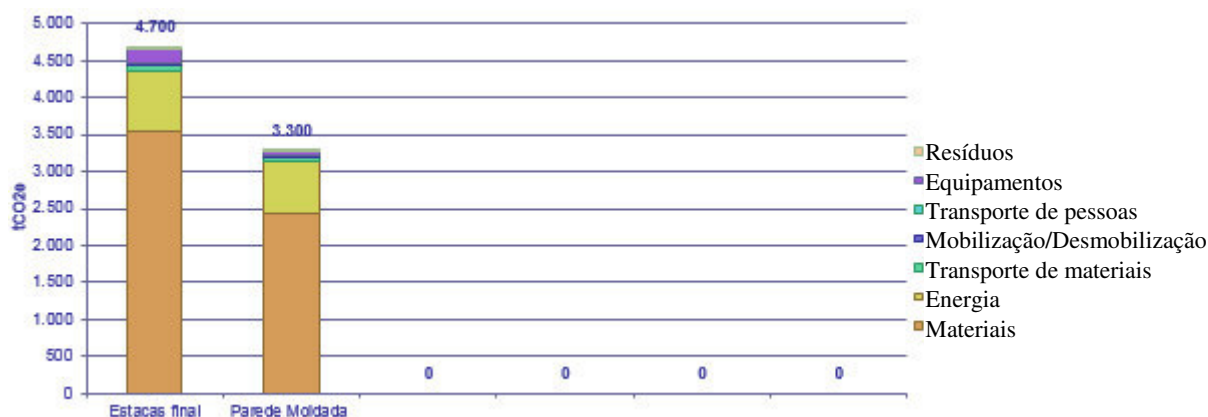


Fig. 5.21. Emissões dos projetos paredes moldadas e estacas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Sabendo que os materiais são o parâmetro que mais influência tem nas emissões, é necessário uma análise mais específica deste. A Fig. 5.22 permite concluir que o material mais influente é o betão, que representa a maior parte da sua constituição. O aço apresenta-se como segundo material mais influente contudo com uma importância menor que as outras fontes de emissão, ou seja, que os restantes parâmetros. É então perceptível a influência das fontes de emissões primárias e das secundárias, sendo a primeira a mais significativa (Fig. 5.23 e Quadro 5.16) é possível afirmar que na maior parte da obra os materiais e a energia assumem um papel determinante no valor das emissões. As fontes de emissões

secundárias apesar de praticamente insignificantes, possuem mais importância nas estacas do que na parede moldada.

Quadro 5.16. Fontes de Emissão

Fontes de Emissão	
Subprojecto	Emissões Primárias
Muro Guia	Materiais; Energia; Transporte de Materiais; Transporte de Pessoas; Equipamentos; Mobilização/Desmobilização; Resíduos
Estacas Primárias	Materiais; Energia
Estacas Secundárias	Materiais; Energia
Viga de Coroamento	Materiais; Energia; Transporte de Materiais; Transporte de Pessoas; Equipamentos; Mobilização/Desmobilização; Resíduos
Ancoragens	Materiais; Energia
Parede Moldada	Materiais; Energia



Fig. 5.22 Detalhe dos materiais que emitem mais CO₂e nas estacas e parede moldada (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

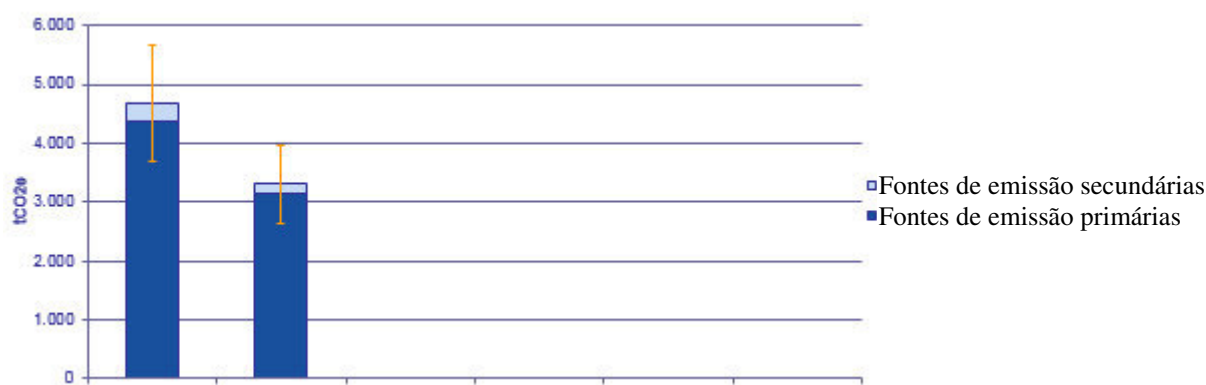


Fig. 5.23. Tipos de emissões das estacas e paredes moldadas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Após a quantificação das emissões de carbono onde se verificou que a parede moldada apresenta menos emissões, apresenta-se de seguida as emissões por custo da obra. Para esse efeito, utilizaram-se valores correntes de mercado para proceder a uma estimativa do custo de cada solução tendo-se obtido os valores indicados no Quadro 5.17. A Fig. 5.24 apresenta a relação entre o kgCO₂e e o preço total da obra, sendo deste modo possível verificar que a parede moldada não só tem um preço inferior ao das estacas (Quadro 5.17), como a relação CO₂/custo é visivelmente inferior. Assim, neste caso, a parede moldada apresenta-se mais vantajosa em termos de emissões de CO₂e e custo. No entanto, deve-se referir que esta solução pode não ser tecnicamente a mais adequada, pelo que o projetista terá sempre que analisar os vários fatores ao conceber a solução de projeto.

Quadro 5.17. Estimativa de custo das soluções de contenção

Custo	
Cortina de Estacas	1.476.196,92 €
Parede Moldada	1.399.147,36 €

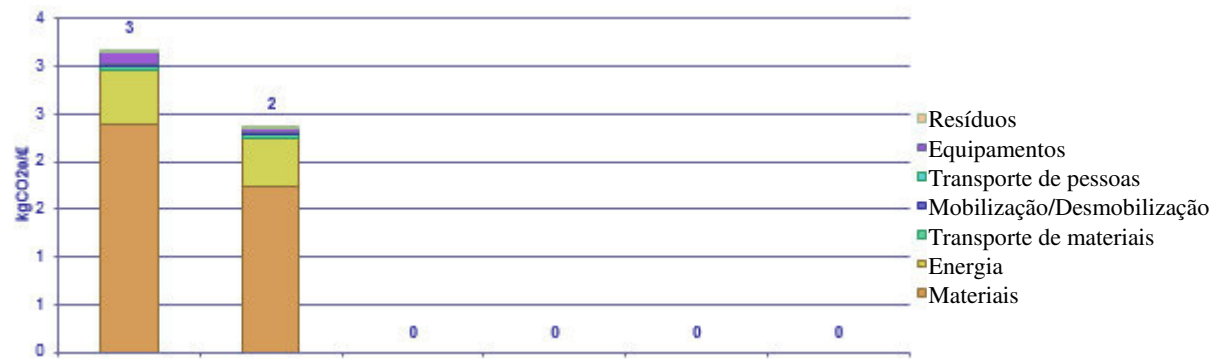


Fig. 5.24. Análise de kgCO₂e/€ (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

6

ANÁLISE DA CALCULADORA DE CARBONO

6.1. INTRODUÇÃO

Após uma breve introdução sobre o funcionamento da calculadora, este capítulo pretende analisar as possíveis variações que se podem introduzir na calculadora de carbono ao quantificar as emissões de CO₂e para uma obra. Por exemplo, quando não é possível ter a informação completa dos recursos usados numa obra, a própria calculadora dispõe de um procedimento simplificado para estimar as emissões. Por outro lado, quando existem recursos afetos a mais do que um subprojecto ou quando se dispõe de fatores de emissão próprios, estes podem ser contabilizados manualmente introduzindo diretamente as suas emissões.

6.2. ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA CALCULADORA

Para uma melhor compreensão da análise a ser realizada neste capítulo é necessário entender como são introduzidos os dados na calculadora para se chegar aos resultados pretendidos.

Deste modo começa-se pelo topo da janela de Excel® (Fig. 6.1).

A técnica já se encontra pré-definida

Dias de trabalho

Working days

Full-time equivalent

Escolha do País

A tempo inteiro

Nome do Subprojeto	Subproject name	
Técnica	Technique	Soil Mixing
Data do Cálculo	Date of calculation	
Autor	Author	
Dias de trabalho	Working days	Working days
Nº de trabalhadores	Workforce	Full-time equivalent
Valores do Projeto	Project value	€
País da implantação	Country	-Select the project country
Outros critérios de comparação	Functional unit 1	value unit
	Functional unit 2	value unit

Fig. 6.1. Dados iniciais (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

A segunda etapa passa pela inserção de dados referentes aos materiais a utilizar, os dados que se encontram na Fig. 6.2 são valores pré definidos pela calculadora, para o tipo de obra selecionado. O

signal + possível de visualizar na Fig. 6.2, serve para acrescentar caixas relativas aos materiais em análise.

Quantidade de Mistura	Name	Default concrete	made at plant
	Quantity		m3
Quantidade de cimento	+ Cement	CEM I	Selecionar tipo de cimento
	Total cementitious content	400	kg/m3
	Secondary constituent	-	Constituinte secundário
	Secondary constituent content	Default value	Real Value
		0%	
Quantidade de Agregados	Aggregate	900	kg/m3
	Recycled content	do not apply	new or recycled
Quantidade de Areia	Sand	800	kg/m3
	Recycled content	do not apply	new or recycled
Quantidade de Água	Water	200	kg/m3
	Recycled content	do not apply	new or recycled
Quantidade de bentonite	Bentonite	0	kg/m3
	Recycled content	do not apply	new or recycled
		0,0	t/m3

Selecionar se o composto é realizado ou não em planta

Quantidade do constituinte

0 kgCO2e

0 kgCO2e

0 kgCO2e

0 kgCO2e

0 kgCO2e

Fig. 6.2. Dados dos materiais (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

O terceiro passo é preencher a informação relativa ao transporte de materiais (Fig. 6.3.)

a)

Distance	20 km	Type	Road - Rigid >17t	Load	8	m3
-----------------	-------	-------------	-------------------	-------------	---	----

↓

Distância de percurso do local de produção ou armazenamento até ao local da obra

↓

Seleção do tipo de transporte do material

↓

Valor referente ao volume transportado pelo equipamento, fornecido automaticamente pela calculadora

b)

0	travels	empty-return rate	100%
---	---------	-------------------	------

↓

Número de viagens, definido pela calculadora aquando da escolha do tipo de transporte

↓

Percentagem carga no retorno 100 – vazio, 0 - cheio

Fig. 6.3. Dados do transporte dos materiais a) e b) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

A quarta entrada é referente à energia esta pode ser obtida de diversas formas (Fig. 6.4)

Rácio simplificado	→	Simplified ratio	OFF	Default
Consumo em l	→	Diesel		liter
Consumo em kWh	→	Network electricity		kWh

Fig. 6.4 Dados relativos ao consumo de energia (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

De seguida contabiliza-se o transporte dos equipamentos necessários para a execução da obra (Fig. 6.5).

Rácio fornecido por defeito pela calculadora, possível de ser desligado

Simplified ratio	1,9%	Default	0 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t		roundtrips	Distance 50 km one way
Road - Articulated >33t		roundtrips	Distance 50 km one way

Escolha do tipo de transporte Número de idas e voltas Distância a percorrer num sentido

Fig. 6.5. Dados relativos ao transporte de equipamentos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

A 6ª entrada é referente ao transporte de pessoas (Fig. 6.6).

Tipo de transporte	Número de idas e voltas	A cada x dias	Distância média num sentido
Coming by	Number of roundtrips	every X day(s)	Average distance (km one way)
Car	0	1	50
Bus		1	50
Train		5	300

Train		pkm	0 kgCO ₂ e
-------	--	-----	-----------------------

Para viagens profissionais

Fig. 6.6. Dados relativos ao transporte de pessoas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Mais uma vez o equipamento necessário para a execução da obra é avaliado, mas neste ponto é referente ao seu peso (Fig. 6.7). Dados sobre os equipamentos a) e b) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

a)

Rácio Simplificado	Simplified ratio	1,5%	Default
--------------------	------------------	------	---------

Peso dos Equipamentos

Machines		t
----------	--	---

b)

Lifetime	10 years	Use time	0 days	Working days	150 days / year
----------	----------	----------	--------	--------------	-----------------

Tempo de vida

Tempo de uso

Dias de utilização

Fig. 6.7. Dados sobre os equipamentos a) e b) (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

A última entrada referente a um parâmetro específico é referente aos resíduos (Fig. 6.8)

Rácio simplificado

Simplified ratio	0,1%	Default
------------------	------	---------

Resíduos em Toneladas

Waste 1		t
---------	--	---

Fig. 6.8. Dados sobre os resíduos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Por último uma tabela genérica Fig. 6.9 que se adapta à informação que se pretende inserir através da colocação de valores previamente calculados pelo utilizador.

Name		Materials		kgCO2e
------	--	-----------	--	--------

Nome dado, pelo utilizador, ao parâmetro definido

Materiais

Fig. 6.9 Dados genéricos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

6.3 ANÁLISE DAS QUANTIDADES DE MATERIAIS

A primeira análise a realizar envolve os materiais constituintes das estacas primárias da obra referida no capítulo 5. Neste, utilizaram-se valores estimados com base na informação disponível do projeto, portanto próximos dos reais (aqui designada por “dados da obra”). Este capítulo foi realizado para se proceder a uma comparação entre esses valores e os definidos automaticamente pela calculadora de carbono para este tipo de obra (tratamento de solo) com base em rácios internos que permitem este procedimento simplificado (Quadro 6.1), aqui designado por “dados da calculadora”. Como este procedimento não inclui a bentonite e os adjuvantes, estes terão sempre que ser introduzidos manualmente.

Quadro 6.1. Análise das quantidades de materiais das estacas primárias

Estacas Primárias		
	Dados da obra	Dados da Calculadora
CEM I	370kg/m ³	400kg/m ³
Agregados	424kg/m ³	900kg/m ³
	522kg/m ³	

Areia	887kg/m ³	800kg/m ³
Água	163kg/m ³	200kg/m ³
Bentonite		30kg/m ³
Adjuvante		4,5kg/m ³

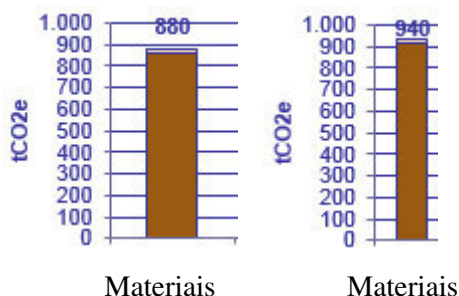


Fig. 6.10. Emissões de CO2e obtidos através dos dados da obra e da calculadora (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Assim obtiveram-se os resultados que se visualizam na Fig. 6.10, onde à esquerda se apresenta o resultado obtido através dos dados da obra e à direita o proveniente dos valores fornecidos pela calculadora de carbono (encontra-se em anexo uma folha da calculadora de carbono com estes valores). É então possível analisar que os valores fornecidos pela calculadora levam a resultados sobredimensionados quando comparados com os dados introduzidos. Deste modo verifica-se que, quanto mais detalhada for a informação mais aproximados serão os dados ao real.

Também o parâmetro do transporte é influenciado pela quantidade de materiais, pelo que os valores obtidos por defeito pela calculadora (27tCO₂e) foram diferentes do valor obtido através dos dados da obra (15tCO₂e). No procedimento simplificado, a calculadora assume automaticamente valores para as distâncias e tipos de transporte, pelo que não é necessário introduzir quaisquer dados adicionais. Este processo sobreavalia mais uma vez as emissões aumentando o desfasamento entre o valor da obra e o da calculadora. Ou seja, dispondo dos valores próprios da obra é possível quantificar de uma forma mais realista as emissões provenientes da atividade em causa.

6.4. ANÁLISE DA MOBILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O segundo caso em análise refere-se à utilização dos rácios definidos na calculadora e/ou introdução de valores manualmente de acordo com a Quadro 3.2 do capítulo 2. Neste caso, pretende-se avaliar os resultados da calculadora aplicando as várias possibilidades definidas na Quadro 3.2 ao parâmetro da mobilização do equipamento (aqui designada por Mob/Demob). Para este efeito, foram propostos cinco casos, onde foram alterados os valores introduzidos, quer acerca do número de viagens, dos valores das emissões, bem como da percentagem de carga em retorno, de modo a compreender as variações das emissões em cada caso.

O caso 1 é referente ao caso do CSM CEM III apresentado no capítulo 4, onde se inseriram os valores da obra tal como se mostra nas Fig. 6.11 e Fig. 6.12

Simplified ratio	OFF	Default	87.706	0 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t	2 roundtrips	1,18 Distance	383 km one way	1.814 kgCO ₂ e
Road - Articulated >33t	2 roundtrips	1,21 Distance	383 km one way	1.854 kgCO ₂ e
Road - Articulated >33t	2 roundtrips	1,21 Distance	383 km one way	1.854 kgCO ₂ e

Fig. 6.11. Caso 1 - valores introduzidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

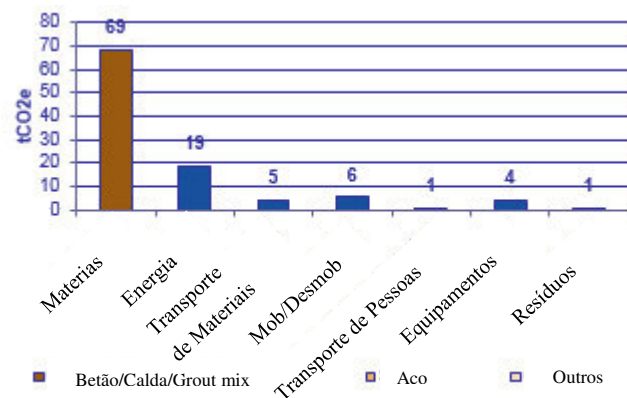


Fig. 6.12. Caso 1 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

O caso 2 (Fig. 6.13 e Fig. 6.14) corresponde à situação do procedimento simplificado (Simplified ratio ON) onde não é necessário inserir valores nos parâmetros dos transportes dos equipamentos, uma vez que a calculadora assume por defeito o rácio pré-definido.

Simplified ratio	1,9%	Default	87.706	1.671 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t	roundtrips	1,18 Distance	383 km one way	0 kgCO ₂ e
Road - Articulated >33t	roundtrips	1,21 Distance	383 km one way	0 kgCO ₂ e
Road - Articulated >33t	roundtrips	1,21 Distance	383 km one way	0 kgCO ₂ e

Fig. 6.13. Caso 2 - valores introduzidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

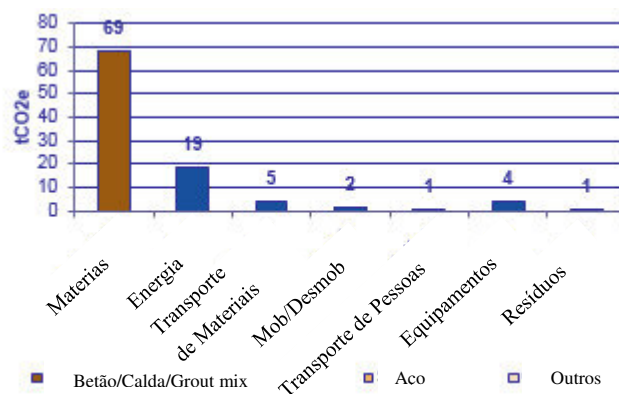


Fig. 6.14. Caso 2 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

O caso 3 (Fig. 6.15 e Fig. 6.16) adiciona ao caso 2 valores inseridos manualmente, ou seja ao contrário do caso 1 em que se coloca o número de viagens e a calculadora determina as emissões tendo em atenção este número e o tipo de equipamento, neste caso serão colocadas as emissões definidas pelo utilizador.

Simplified ratio	1,9%	Default	87.706	1.671 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t		roundtrips	1,18 Distance	383 km one way
Road - Articulated >33t		roundtrips	1,21 Distance	383 km one way
Road - Articulated >33t		roundtrips	1,21 Distance	383 km one way
Name	Mob/demob			5.400 kgCO ₂ e

Fig. 6.15. Caso 3 - valores inseridos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

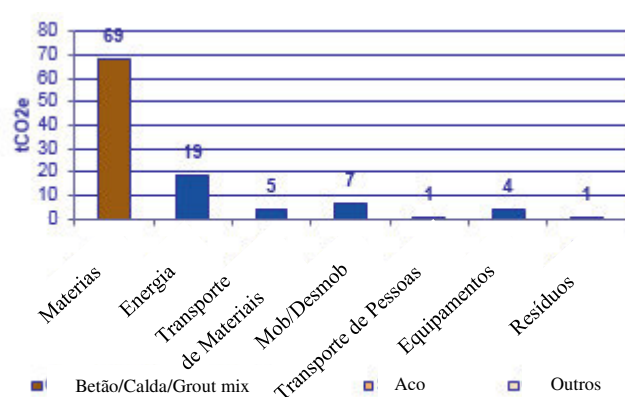


Fig. 6.16. Caso 3 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

No caso 4 (Fig. 6.17 e Fig. 6.18) a aplicação do rácio simplificado foi desligada manualmente, assim sendo apenas se encontram contabilizadas as emissões calculadas pelo utilizador.

Simplified ratio	OFF	Manually turned OFF	87.706	0 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t		roundtrips	1,18 Distance	383 km one way
Road - Articulated >33t		roundtrips	1,21 Distance	383 km one way
Road - Articulated >33t		roundtrips	1,21 Distance	383 km one way
Name	Mob/demob			5.400 kgCO ₂ e

Fig. 6.17. Caso 4 - valores inseridos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

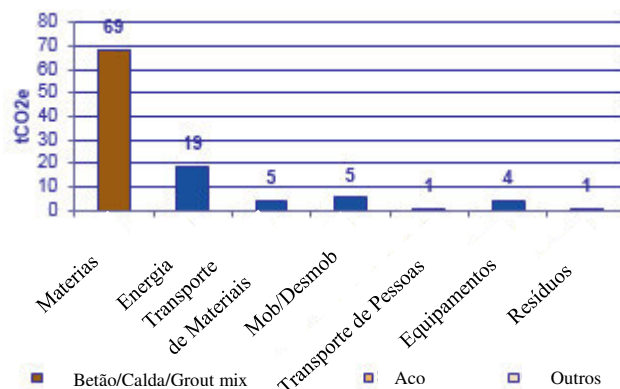


Fig. 6.18. Caso 4 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

O último caso (Fig. 6.19 e Fig. 6.20), apresenta ainda a alteração da percentagem de carga no retorno, relativamente ao Caso 1 para compreender a alteração que este parâmetro provoca através da sua alteração.

Simplified ratio	OFF	Default	239.992	0 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t	2 roundtrips	1,18 Distance	383 km one way	907 kgCO ₂ e
Road - Articulated >33t	2 roundtrips	1,21 Distance	383 km one way	927 kgCO ₂ e
Road - Articulated >33t	2 roundtrips	1,21 Distance	383 km one way	927 kgCO ₂ e

Fig. 6.19. Caso 5 - valores inseridos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

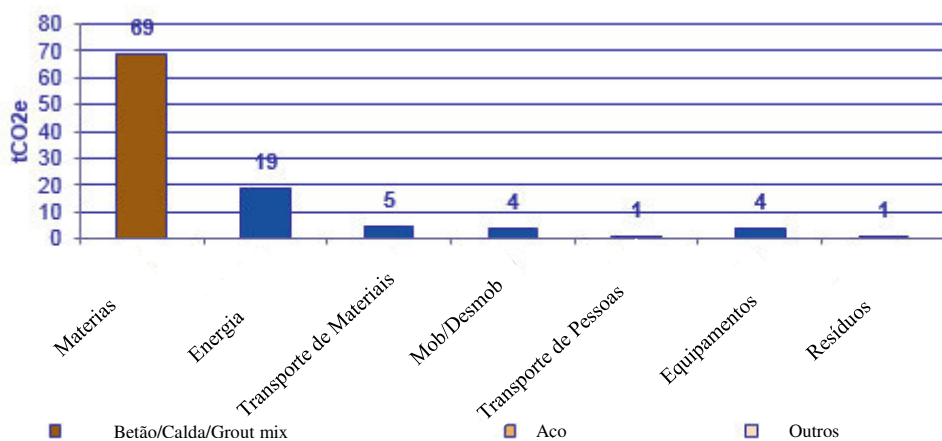


Fig. 6.20. Caso 5 - valores obtidos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Quadro 6.2. Emissões referentes aos casos considerados

tCO ₂ e	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Emissões	6	2	7	5	4

Através do Quadro 6.2 é possível compreender os resultados das diferentes possibilidades deste parâmetro. O caso que leva ao menor valor de emissões é caso 2 onde se usa apenas o rácio simplificado definido pela calculadora, e que permite visualizar o subdimensionamento desta emissão, sendo o valor mais distante do aplicado. O caso mais gravoso torna-se o caso 3, o que seria de esperar, uma vez que para além do rácio, são introduzidos valores de emissão, ou seja é a soma do primeiro com o segundo. Já o caso 5 demonstra, para este caso, que o facto de se ter contabilizado o retorno do equipamento com carga, não baixa significativamente o valor de emissão quando comparado com o primeiro caso onde se considerou o retorno do equipamento sem carga, uma vez que não influencia o resultado final.

6.5. CONTRIBUIÇÃO PARA O ESCLARECIMENTO DE EVENTUAIS ERROS

A calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4 é um elemento recente que ainda se encontra em desenvolvimento, pelo que, foram detetados algumas pequenas incoerências que necessitam de ser esclarecidas. No desenvolvimento do trabalho e através da inserção dos dados referentes à obra foram detetados alguns problemas, sendo que uns podem facilmente ser corrigidos, mas é, para tal, necessário alguma atenção aos resultados das emissões para os poder verificar.

Começando pelo primeiro caso de estudo, que se refere à cunha de transição, o procedimento específico de produção da calda “*in situ*” levou a uma constatação, que não poderia ser verificada caso a sua produção fosse em central. É possível verificar para o separador denominado por *FREIGHT* um erro que influencia diretamente o cálculo das viagens. A partir das Fig. 6.21e Fig. 6.22 consegue-se visualizar a incongruência. Na primeira vê-se que o valor é obtido através da divisão da célula I28 pela célula V25 ou seja 480t por 7,5t o que se encontra correto, contudo quando passamos para as linhas seguintes consegue-se visualizar o problema. Na Fig. 6.22 encontra-se a mesma divisão contudo agora incorreta, célula I33 a dividir pela célula V30, neste caso o valor que deveria ser colocado na divisão seria 1080t por 15t, ou seja I30 a dividir por V30. Na execução da folha de Excel® as fórmulas terão sido obtidas através da primeira imagem, que é o único caso em que as células utilizadas para o cálculo se situam em linhas diferentes, ao puxar a fórmula para baixo este facto não foi corrigido, provocando um erro na determinação do número de viagens e consequentemente nas emissões produzidas.

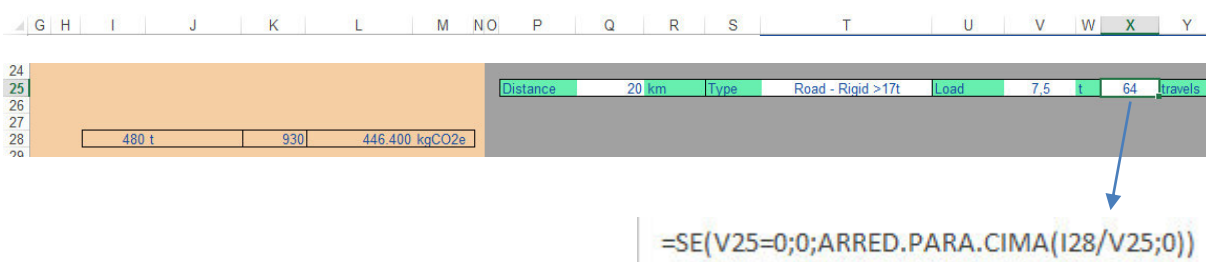


Fig. 6.21. Cálculo das viagens correto (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

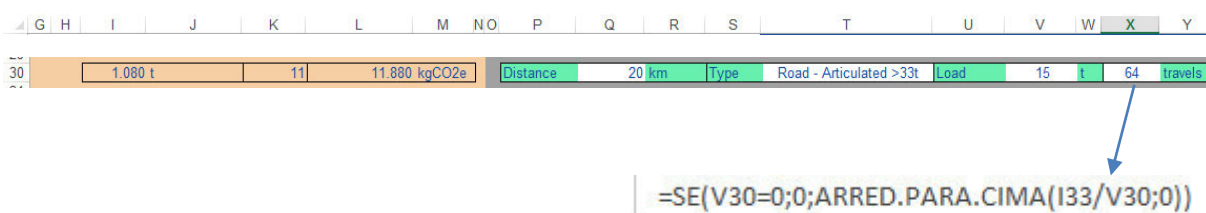


Fig. 6.22. Cálculo de viagens incorreto (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

A sua correção é fácil, contudo é necessário fazer em todas as linhas semelhantes que se utilizarem, basta substituir I33 por I30 para este caso em particular, de um modo geral é necessário substituir o numerador errado com a inserção da célula certa referente a linha em estudo.

Foi detetado no caso do estudo das estacas, uma situação para o qual é necessário algum cuidado aquando da colocação dos dados nas Fig. 6.23. e Fig. 6.24.. É possível ver que para duas técnicas diferentes com o mesmo material, os dados possuem diferentes unidades. A Fig. 6.23 correspondente à técnica "outros" ao adicionar uma nova célula de um material esta não especifica a unidade em que o valor deverá ser inserido, este apenas é conhecida aquando da sua utilização. Neste caso na primeira linha o valor encontra-se em kg/m^3 ou seja em 100kg/m^3 o que resulta num valor final de 23 t na linha seguinte na mesma folha em que o mesmo valor resulta em 23143 ton, ou seja neste caso o valor encontra-se em t o que significa que em vez de ser introduzido 100 deverá ser colocado 0,1.

Technique		Other				
+	Bentonite	100	kg/m3	23 t	496	11.479 kgCO2e
	Recycled content	do not apply	new or recycled			
-	Bentonite	100	0	23.143 t	496	11.478.928 kgCO2e
	Recycled content	do not apply	new or recycled			

Fig. 6.23. Valores para técnica "other" (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

As restantes técnicas utilizadas neste trabalho já não possuem esta diferença, sendo que os valores se mantêm em kg/m^3 , contudo continua sem mencionar a unidades. Pode-se verificar esta afirmação através da Fig. 6.24 em que num caso semelhante ao relatado para a figura anterior (Fig. 6.23), ambos os valores 30 kg/m^3 levam a 80t.

Technique		Pile walls				
+	Bentonite	30	kg/m3	80 t	496	39.919 kgCO2e
	Recycled content	do not apply	new or recycled			
-	Bentonite	30	0	80 t	496	39.919 kgCO2e
	Recycled content	do not apply	new or recycled			

Fig. 6.24. Valores das restantes técnicas (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Um outro problema encontra-se relacionado com o nome do parâmetro, para o caso do transporte dos equipamentos e no transporte de pessoas o nome *roundtrip* que significa ida e volta apenas contabiliza uma viagem num sentido, sendo que para considerar os dois sentidos será necessário considerar duas viagens. Este facto pode ser visualizado na Fig. 6.25 na parte superior, em que o número de quilómetros considerado é apenas contabilizada uma vez, neste caso em particular vê-se que ao inserir os 50km o valor final é igual a este, o que para o caso de ida e volta estará incorreto. O valor devia ter sido automaticamente multiplicado por dois, que corresponde aos dois sentidos, contudo através deste erro só é possível chegar ao valor correto se se considerar duas viagens, a Fig. 6.25 em baixo corrobora esta afirmação.

É no entanto necessário tomar bastante atenção uma vez que esta incongruência não ocorre em todas as técnicas, a Fig. 6.26 comprova este problema, em que uma ida e volta os quilómetros num sentido são 383, leva a um valor final de 766km, ou seja, nesta técnica a multiplicação pelos dois sentidos foi realizada automaticamente.

Esta figura (Fig. 6.26) mostra ainda que ao inserir duas viagens o valor quadruplica passando dos 383 km num único sentido para 1532 km em ida e volta.

Simplified ratio	OFF	Default	334.005	0 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t	1 roundtrips	50 km	1.18 Distance	50 km one way
				59 kgCO ₂ e

Simplified ratio	OFF	Default	334.005	0 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t	2 roundtrips	100 km	1.18 Distance	50 km one way
				118 kgCO ₂ e

Fig. 6.25. Funcionamento incorreto do *roundtrips* (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Simplified ratio	OFF	Default	87.706	0 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t	1 roundtrips	766 km	1.18 Distance	383 km one way
				907 kgCO ₂ e

Simplified ratio	OFF	Default	87.706	0 kgCO ₂ e
Road - Rigid >17t	2 roundtrips	1532 km	1.18 Distance	383 km one way
				1.814 kgCO ₂ e

Fig. 6.26. Funcionamento correto do *roundtrips* (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Por último verifica-se que no parâmetro dos resíduos apenas se consegue escolher um tipo de transporte (Fig. 3.2), sendo que a tentativa de ajustar a capacidade deste ao peso do material que se detém, não só é impossível, como bloqueia a folha. Este processo não consegue ser corrigido uma vez que este tipo de células se encontram bloqueadas ao utilizador.

Waste (Secondary source)									
Simplified ratio	OFF	Default	87.706	0 kgCO ₂ e					
Waste 1	202t	810 km	1.18	959 kgCO ₂ e	Distance	20 km	Type	Road - Rigid >17t	
Waste 2	t	0 km	1.18	0 kgCO ₂ e	Distance	10 km	Type	Road - Rigid >17t	

Type	Road - Rigid >17t
------	-------------------

Fig. 6.27. Parâmetro dos resíduos (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

6.6. ASPETOS A MELHORAR NA CALCULADORA

A calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4 tem como base de programação o Excel®, o que apesar de permitir uma melhor compreensão do método de funcionamento e correção de possíveis erros, por permitir a visualização das fórmulas e viabilizar a sua correção, não é visualmente cativante, sendo por vezes confuso. O ecrã mantém-se fixo, movendo só uma parte da folha, o que torna pequena a janela de inserção de dados facto que nem sempre é útil (Fig. 6.28). A inserção de mais células nem sempre é fácil apresentando por vezes alguma inércia. Pode-se afirmar então que a utilização do Microsoft Excel® nem sempre é *user friendly*.

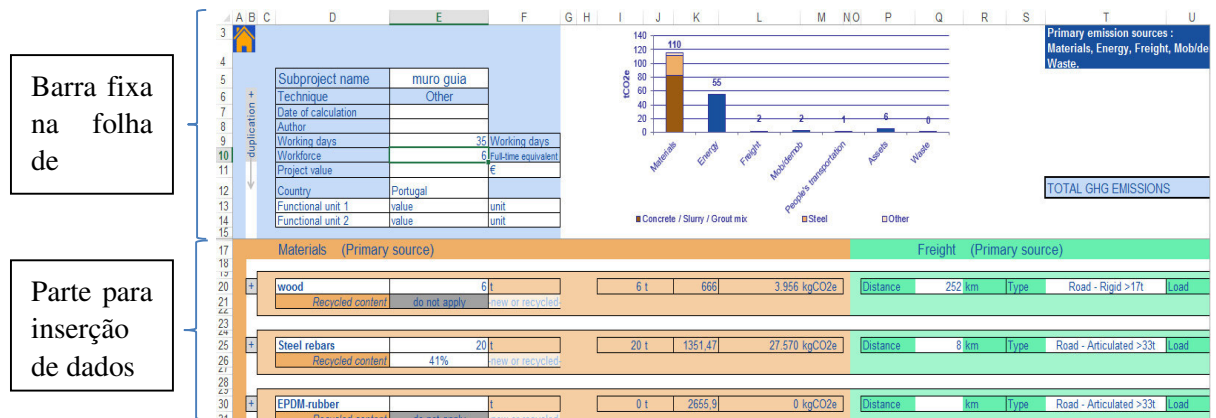


Fig. 6.28. Folha de visualização da calculadora de carbono (Calculadora de Carbono EFFC/DFI)

Um aspeto que leva a avaliação realizada pela calculadora da EFFC/DFI/Carbone4 ser um tanto quanto imprecisa, prende-se no planeamento da obra. Esta não realizada sobreposição de tarefas, o que leva a um excesso de emissões, como exemplo temos o transporte de pessoas, sendo o veículo uma camioneta e no caso de existirem na obra duas tarefas a serem executadas ao mesmo tempo, este veículo levará todas as pessoas ao mesmo tempo, sendo a soma das suas emissões incorreta. Outro exemplo é a utilização dos equipamentos que por vezes auxiliam duas tarefas, mas como a calculadora funciona com subprojectos, este irá ser contabilizado duas vezes. Este problema mantém-se no que diz respeito ao tempo em que esta máquina estará em obra, uma vez que cada subprojecto tem um tempo de execução, a sobreposição de dois pode levar a serem considerados mais dias de utilização do que os realmente necessários.

Talvez por esta razão o resultado da calculadora para o caso da comparação dos projetos relativos à obra de contenção deixe os valores do número de pessoas e de dias de trabalho por preencher. A única possibilidade de contornar este facto prendesse no cálculo automático das emissões.

7

CONCLUSÕES

Com a presente dissertação pretende-se dar a conhecer a calculadora da EFFC/DFI/Carbone4, que sendo bastante recente ainda se encontra numa fase de evolução. O estudo desta calculadora em específico, quando existem outras também relacionadas com a construção, prende-se com o facto de ter sido desenvolvida especificamente para obras geotécnicas e também por pretender globalizar a análise deste tipo de obras de modo a permitir a sua comparação com outras.

Após uma análise contextual da calculadora, no que se refere à razão pela qual esta ferramenta foi criada assim como a diferenciação desta com outras existentes no mercado, a compreensão do funcionamento desta ferramenta não estaria completa sem o estudo de casos concretos que levassem à necessidade da sua aplicação, daí os dois capítulos seguintes. Foram estudados dois casos, um referente ao tratamento de solo e outro de uma estrutura de contenção. O primeiro que consiste numa cunha de transição tem três vertentes, a utilização de CEM I, CEMIII e ativação alcalina, para a realização da calda. O intuito inicial era analisar o comportamento deste novo material quando comparado ao uso recorrente de cimento, mas a utilização do CEM III levou a resultados inesperados, foi portanto necessário comparar com o cimento ordinário, para perceber se o resultado obtido pelo CEMIII era muito diferente deste. Na realidade a composição do CEM III é muito favorável para a redução das emissões de CO₂e, devido à sua composição proveniente de elementos produzidos naturalmente como resíduos de outros produtos e nem mesmo a ativação alcalina consegue menos emissões do que este. A escolha do CEM III e CEM I resultou da indicação do construtor do equipamento, já a ativação alcalina provém do facto de ser um material recente e por isso desperta grande interesse de estudo.

A colocação de toda a informação para a análise efetuada pela calculadora levou à necessidade de uma maior compreensão da técnica de CSM, dos equipamentos necessários para o seu funcionamento assim como a escolha destes através da definição das dimensões das colunas.

No final desta avaliação foi possível concluir que o CEM III é a melhor solução em todos os parâmetros estudados, ao nível das emissões é o que emite menos quantidade, assim como ao nível dos preços apresenta a melhor relação emissões/custo. Quanto aos outros dois apesar de o CEM I apresentar um menor custo de produção, a relação de tCO₂e/€ faz com que a ativação alcalina apresente resultados melhores, sendo esta relação menor do que a do CEM I, uma vez que as emissões produzidas pela ativação alcalina são menores que as do CEM I. Existe no entanto uma inconsistência nestes resultados, pelo facto dos valores dos materiais da ativação alcalina poderem estar sobredimensionados, uma vez que foram obtidos através de preços tabelados para certas quantidades que se apresentam inferiores as necessidades da obra. Estes preços podem por isso variar não só com o tamanho da carga pretendida assim como variações de procura do mercado.

O segundo caso tratou-se de um projeto real, com intuito de se proceder ao estudo das emissões produzidas assim como a aplicação de outra técnica de contenção, que poderia ser ajustada a obra real, e deste modo ser comparada no que concerne às emissões. A estrutura projetada consistia numa cortina de estacas, constituída por dois tipos de estacas, estacas primária e secundárias, sendo que apenas a segunda continha armadura. Já a segunda solução proposta, que pretende substituir neste estudo a cortina de estacas, consiste numa parede moldada. Ao contrário da obra da cunha de transição, este tipo de projeto é constituído por várias partes ou seja subprojectos, ambos possuem muros guia, vigas de coroamento e ancoragens, sendo que as duas estacas e o muro representam, cada um destes, um subprojecto. Foi importante para a sua execução ter noção que todos os valores definidos na obra de contenção, excluindo os das ancoragens que são provisórias, tiveram de ser ajustadas a geometria da parede moldada, o que leva a resultados diferentes para cada um.

Após a avaliação que leva ao estudo dos mesmos parâmetros mencionados anteriormente, para cada subprojecto e a sua conjugação, conclui-se que a apesar dos resultados serem aproximados a parede moldada apresenta-se como a melhor solução tanto no que diz respeito às emissões como à relação $tCO_2e/€$. Apesar de estes não serem os únicos fatores relevantes da análise da calculadora tornam-se os mais importantes na tomada de decisão e por isso são especificados com mais ênfase.

Foi ainda realizada uma análise da ferramenta no que diz respeito aos seus problemas assim como aspetos a melhorar. Sendo que a calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4 se encontra ainda em desenvolvimento é natural visualizar alguns problemas nos parâmetros e cálculos desta, foram portanto encontrados na fase de estudo dos casos quatro incoerências, que influenciam os resultados e que levam à necessidade de uma atenção redobrada nos valores obtidos. Alguns destes problemas podem ser resolvidos uma vez que se apresenta como documento Excel®, contudo outros são células fixas que não podem ser alteradas pelo utilizador, na realidade um dos problemas pode ser facilmente contornado, obtendo assim o resultado esperado, no entanto o outro é impossível de contornar, tendo de se aceitar o modelo proposto pela calculadora de qualquer forma.

Existem alguns aspetos que podem ser melhorados ou mesmo alterados na calculadora e um deles é a abrangência da sua análise, que não compreende o planeamento da obra, por outras palavras não considera o uso de equipamentos em subprojectos sobrepostos, nem o transporte de pessoas na mesma altura o que rebaixa o nível de emissões. A contabilização de pessoas também é restringida, pelo facto de as mesmas pessoas poderem estar a participar em subprojectos diferentes e altura diferentes. Na realidade em obras com vários subprojectos como foi o segundo caso, na comparação entre projetos a calculadora não fornece o tempo real de obra, nem o número de pessoas deixando as células em branco.

A análise de sensibilidade da calculadora levou a uma melhor compreensão dos parâmetros analisados assim como dos valores obtidos pela calculadora. A análise dos materiais relativos à estaca primária da obra de contenção, levou à conclusão que a utilização dos dados definidos pela calculadora promove valores bastante diferentes dos reais. Este facto é possível verificar também no caso da mobilização e desmobilização do equipamento onde o valor de emissão mais afastado do real é obtido pelo rácio simplificado. Este segundo caso de estudo permite ainda a compreensão das diferentes possibilidades de análise, de forma a verificar as diferenças de emissões obtidas. No caso em que o retorno é realizado com carga não levou a uma diferença substancialmente maior do que o caso contrário, sendo que por incerteza deste tema, a variação de resultados não será significativa. Permite ainda visualizar o procedimento para a inserção manual de valores de emissão que apesar de ter sido aplicado apenas para este caso, poderá ser utilizado em outros parâmetros. Este facto permite colmatar alguns aspetos que não são previstos na calculadora, mas que podem acontecer em obra.

A realização desta dissertação não se baseou só na compreensão do funcionamento e análise dos resultados da calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4. Esta escondeu todo um processo de análise e estudo das diferentes técnicas abordadas, desde o método de execução, passando pelos materiais e equipamentos necessários, até mesmo participar na tomada de decisão do tipo de equipamento mais adequado à geometria da obra. Foi também necessário a realização do contacto com parceiros que forneceram dados cruciais para a realização desta dissertação, assim como a realização de uma orçamentação, que apesar de não se encontrar muito detalhado foi um objeto de estudo necessário. A aparente simplicidade do tema é contrariada pela abrangência de informação e poderia ser muito mais aprofundada, mas devido aos prazos apertados de realização, teve-se de reduzir aos conteúdos.

Existem vários tópicos que podem ainda ser amplamente estudados e que serão propostos para desenvolvimentos futuros, estes passam pela análise das restantes técnicas disponíveis na calculadora, que leva a uma compreensão mais alargada do funcionamento desta calculadora e consequentemente ao seu melhoramento. Deve-se ainda alargar a análise de sensibilidade aos restantes parâmetros da calculadora uma vez que apenas foram realizadas a um número limitado. Este tipo de análise leva ao conhecimento dos vários métodos de cálculos de cálculo, proporcionados pela calculadora da EFFC/DFI/Carbone4. Por último propõe-se uma evolução da calculadora no que se refere à análise automática, uma vez que para determinadas informações de grande importância na obra, como por exemplo o seu planeamento, que são calculadas manualmente e só depois inseridas na calculadora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bauer - CSM Cutter Soil Mixing Process and Equipment. 2014.

Bernstein, Lenny; Bosc, Peter; Chen, Osvaldo Canziani Zhenlin; Renate Christ, Ogunlade Davidson; Hare, William; Huq, Saleemul; Karoly, David; Kattsov, Vladimir; Kundzewicz, Zbigniew; Liu, Jian; Lohmann, Ulrike; Manning, Martin; Matsuno, Taroh; Menne, Bettina; Metz, Bert; Mirza, Monirul; Nicholls, Neville; Nurse, Leonard; Pachauri, Rajendra; Palutikot, Jean; Parry, Martin; Qin, Dahe; Ravindranath, Nijavalli; Reisinger, Andy; Ren, Jiawen; Riahi, Keywan; Rosenzweig, Cynthia; Rusticucci, Matilde; Schneider, Stephen; Sokona, Youba; Solomon, Susan; Stott, Peter; Stouffer, Ronald; Sugiyama, Taishi; Swart, Rob; Tirpak, Dennis; Vogel, Coleen; Yohe, Gary - Climate Changes 2007: Synthesis Report Summary for Policymakers. Espanha: 2007.

BREEAM - What is BREEAM? Londres: 2010. Disponível em WWW: <<http://www.breeam.org/about.jsp?id=66>>.

Cimalux - CEMIII. 2014. Disponível em WWW: <https://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/clean_development_mechanism/items/2718.php>.

Commission, European - The EU Emissions Trading System (EU ATS). Bruxelas: Publications Office, 2013.

Commission, European - The 2020 climate and energy package. Bruxelas: 2014a. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm>.

Commission, European - 2030 framework for climate and energy policies. Bruxelas: 2014b. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/index_en.htm>.

Commission, European - Auctioning. 2014c. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/cap/auctioning/index_en.htm>.

Commission, European - Carbon Capture and Geological Storage. Bruxelas: 2014d. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ccs/index_en.htm>.

Commission, European - Carbon Leakage. 2014e. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/cap/leakage/index_en.htm>.

Commission, European - Emissions Trading System. Bruxelas: 2014f. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/cap/index_en.htm>.

Commission, European - The EU Emissions Trading System (EU ETS). Bruxelas: 2014g. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm>.

Commission, European - Europe 2020 in Portugal. 2014h. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-your-country/portugal/progress-towards-2020-targets/index_en.htm>.

Commission, European - Objetivos em matéria de clima e energia para uma economia competitiva, segura e hipocarbónica na UE em 2030. Bruxelas: 2014i. Disponível em WWW: <http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-54_pt.htm>.

- Commission, European - Roadmap for moving to a low-carbon economy in 2050. Bruxelas, 2014j. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm>.
- Commission, European - A sectoral perspective. Bruxelas: 2014k. Disponível em WWW: <http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/perspective/index_en.htm>.
- CORDEK - Piling Accessories. Inglaterra: 2014.
- Cristelo, Nuno; Soares, Edgar; Rosa, Ivo; Miranda, Tiago; Oliveira, Daniel V.; Silva, Rui A.; Chaves, Ana - Rheological properties of alkaline activated fly ash used in jet grouting applications. *Construction and Building Materials*. (2013). p. 9.
- DFI/EFEC/Carbon4 - EFEC DFI Carbon Calculator Methodological Guide 2013.
- DGNB System - The DGNB Certification System. Uniquely flexible. 2014. Disponível em WWW: <http://www.dgnb-system.de/en/system/certification_system/>.
- EFEC, European Federation of Foundation Contractors - - Breaking Down of Concrete Piles. (2014).
- European Environment Agency - Global and European temperature (CSI 012/CLIM 001) - Assessment published Aug 2013. Dinamarca: 2013. Disponível em WWW: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature/global-and-european-temperature-assessment-6>>.
- European Environment Agency - Atmospheric greenhouse gas concentrations (CSI 013/CLIM 052) - Assessment published Feb 2014. Dinamarca: 2014. Disponível em WWW: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-3/assessment>>.
- Ferreira, Martins - Varão para betão. Portugal: 2014.
- HQE Certification - certificações. França: 2013. Disponível em WWW: <<http://www.behqe.com/certification-hqe/specificities>>.
- Keck, Schmid und - Komplettprogramm Alemanha: 2010.
- LEED - Certificações. U.S.A.: 2014. Disponível em WWW: <<http://www.usgbc.org/leed#rating>>.
- Lopes, João António Fernandes de Pinho - Modelos dos Efeitos Dinâmicos em Zonas de Transição em Vias Ferroviárias de Alta Velocidade
FEUP: 2008.
- Lopes, Pedro Nuno Picado - Projecto Geotécnico - Execução de fundações profundas A tecnologia Cutter Soil Mixing. IST - Instituto Superior Técnico: IST - Instituto Superior Técnico, 2010.
- Ministério da Agricultura do Mar do Ambiente e do Ordenamento do Território - Decreto-Lei n.º 38/2013. Diário da República: 2013.
- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território - Decreto-Lei n.º 233/2004. Diário da República 2004.
- Myhre, Gunnar; Shindell, Drew; Bréon, François-Marie; Collins, William; Fuglestedt, Jan; Huang, Jianping; Koch, Dorothy; Lamarque, Jean-François; Lee, David; Mendoza, Blanca; Nakajima,

- Teruyuki; Robock, Alan; Stephens, Graeme; Takemura, Toshihiko; Zhang, Hua - Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. (2014). Disponível em WWW: <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf>.
- Nakicenovic, Nebojsa; Alcamo, Joseph; Davis, Gerald; Vries, Bert de; Fenhann, Joergen; Gaffin, Stuart; Gregory, Kenneth; Grübler, Arnulf; Jung, Tae Yong; Kram, Tom; Rovere, Emilio Lebre La; Michaelis, Laurie; Mor, Shunsuke; Morita, Tsuneyuki; Pepper, William; Pitcher, Hugh; Price, Lynn; Riahi, Keywan; Roehrl, Alexander; Rogner, Hans-Holger; Sankovski, Alexei; Schlesinger, Michael; Shukla, Priyadarshi; Smith, Steven; Swart, Robert; Rooijen, Sascha van; Victor, Nadejda; Dad, Zhou - Emissions Scenarios ENGLAND: 2000. Disponível em WWW: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>>.
- Rosa, Ivo; Nery, Luís Pedro; Carvalho, Ana Teresa - Calculadora de Carbono para Obras Geotécnicas Geotechnical Carbon Calculator Portugal: 2014.
- Shine, K.P.; Derwent, R.G.; Wuebbles, D.J.; Morcrette, J.-J. - Radiative Forcing of Climate. (2014). Disponível em WWW: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_I/ipcc_far_wg_I_chapter_02.pdf>.
- Sousa, Estela Diana Costa - A Técnica de Cutter Soil Mixing Aplicada a Escavações Urbanas. Aspectos Gerais e Casos de Estudo. FEUP: FEUP, 2009.
- Turner, Louise K.; Collins, Frank G. - Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and opc cement concrete. (2013).
- United Nations Framework Convention on Climate Change - Clean Development Mechanism (CDM). 2014a. Disponível em WWW: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/clean_development_mechanism/items/2718.php>.
- United Nations Framework Convention on Climate Change - Joint Implementation (JI). 2014b. Disponível em WWW: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/joint_implementation/items/1674.php>.
- Warming., 2014 Global Greenhouse - Global Warming Potential. 2014. Disponível em WWW: <<http://www.global-greenhouse-warming.com/global-warming-potential.html>>.

ANEXO A.1

Anexo referente ao capítulo 4, contendo os resultados da calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

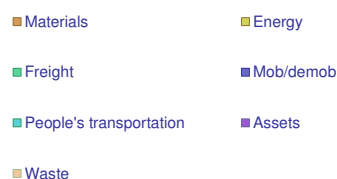
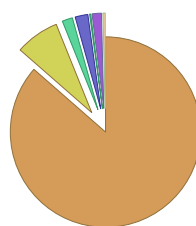
Company	FEUP
Project	CSM-CEM I
DATE	16/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
2 added emission factors

Country	Portugal
Project value	71232 €

Total	260 tCO₂e
ratio per Project value	4 kgCO ₂ e/€

Materials	220 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	220 tCO ₂ e
Steel	0 tCO ₂ e
Other	0 tCO ₂ e
Energy	19 tCO₂e
Freight	5 tCO ₂ e
Mob/demob	6 tCO ₂ e
People's transportation	1 tCO ₂ e
Assets	4 tCO ₂ e
Waste	1 tCO ₂ e



Activities covered



User-defined emission factors

Sodium Hydroxide	1217,8 kgCO ₂ /t	0
Sodium Silicate	1095,6 kgCO ₂ /t	0



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

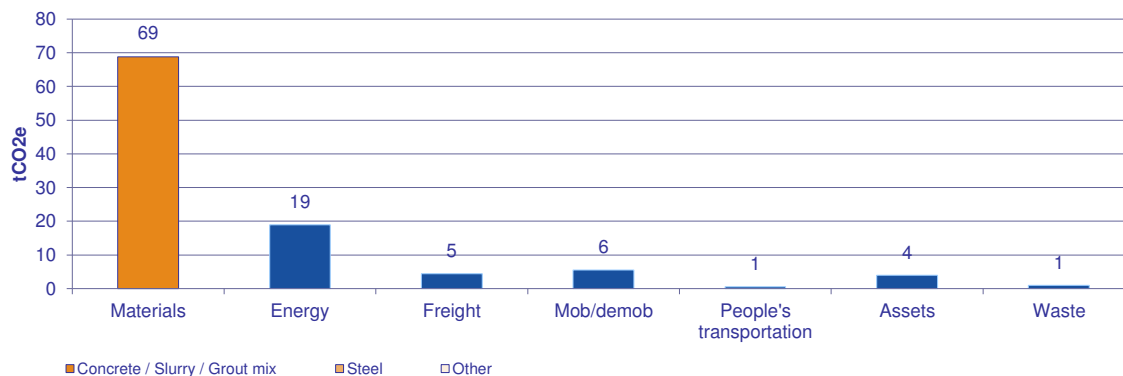
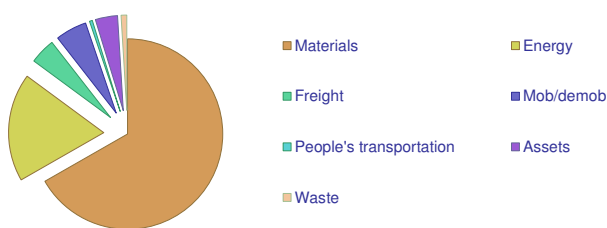
Company	FEUP
Project	CSM CEMIII
DATE	16/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
2 added emission factors

Country	Portugal
Project value	73608 €

Total	100 tCO₂e
ratio per Project value	1 kgCO ₂ e/€

Materials	69 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	69 tCO ₂ e
Steel	0 tCO ₂ e
Other	0 tCO ₂ e
Energy	19 tCO₂e
Freight	5 tCO ₂ e
Mob/demob	6 tCO ₂ e
People's transportation	1 tCO ₂ e
Assets	4 tCO ₂ e
Waste	1 tCO ₂ e



Activities covered



User-defined emission factors

Sodium Hydroxide	1217,8 kgCO ₂ /t	0
Sodium Silicate	1095,6 kgCO ₂ /t	0



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

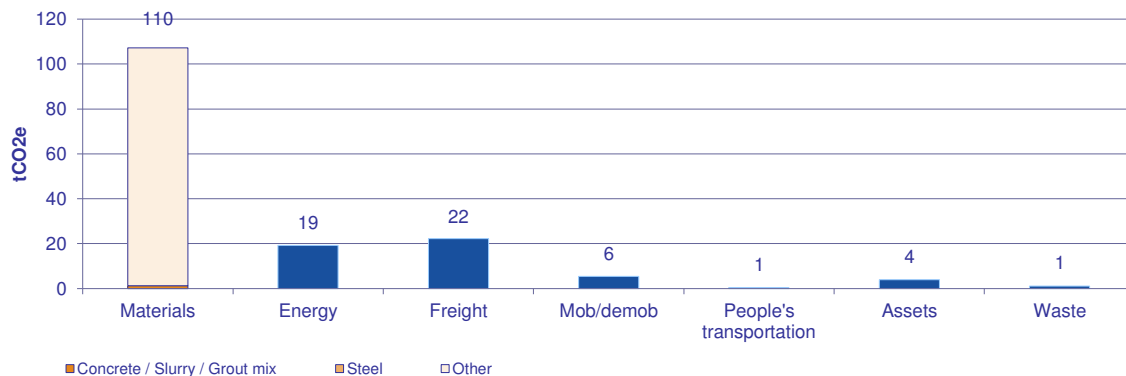
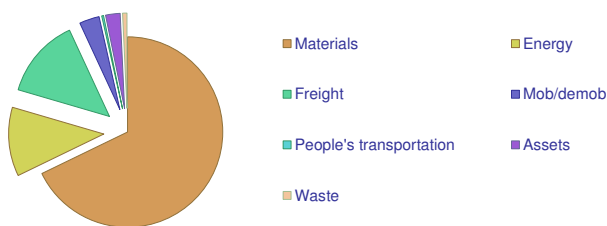
Company	FEUP
Project	CSM-AA
DATE	16/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
2 added emission factors

Country	Portugal
Project value	96395,4 €

Total	160 tCO₂e
ratio per Project value	2 kgCO ₂ e/€

Materials	110 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	1 tCO ₂ e
Steel	0 tCO ₂ e
Other	110 tCO ₂ e
Energy	19 tCO₂e
Freight	22 tCO₂e
Mob/demob	6 tCO₂e
People's transportation	1 tCO₂e
Assets	4 tCO₂e
Waste	1 tCO₂e



Activities covered



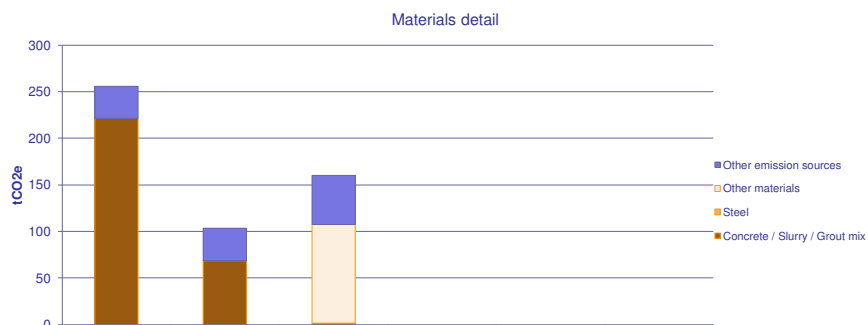
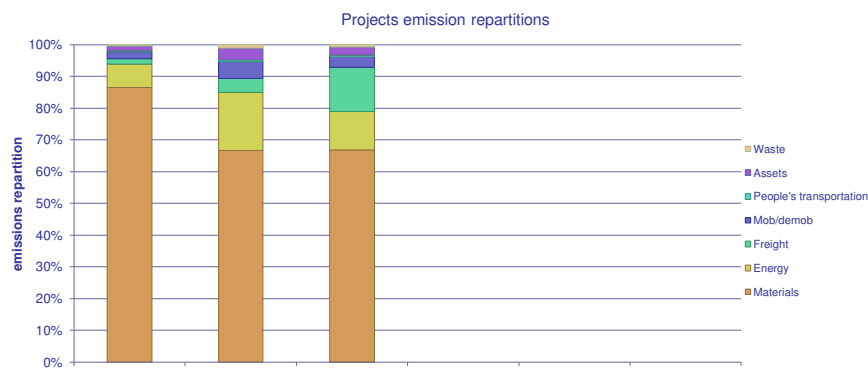
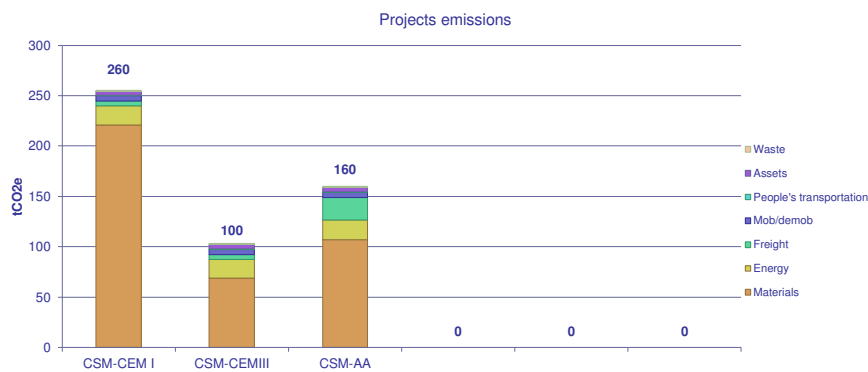
User-defined emission factors

Sodium Hydroxide	1217,8 kgCO ₂ /t	0
Sodium Silicate	1095,6 kgCO ₂ /t	0

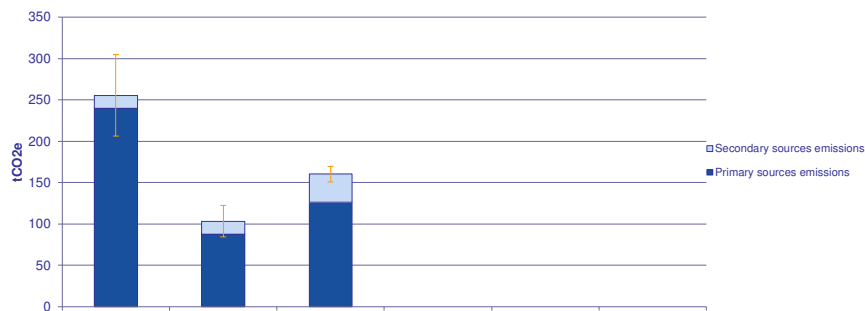
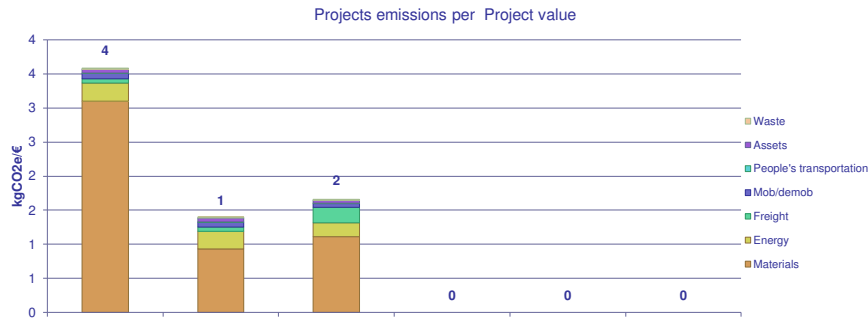
Comparison sheet (1/2)

	CSM-CEM I	CSM-CEMIII	CSM-AA				
Materials	221	69	107				tCO2e
Energy	19	19	19				tCO2e
Freight	4	4	22				tCO2e
Mob/demob	6	6	6				tCO2e
People's transportation	1	1	1				tCO2e
Assets	4	4	4				tCO2e
Waste	1	1	1				tCO2e
Total	260	100	160	0	0	0	tCO2e

Working days	15	15	15				days
Workforce	4	4	4				Full time equivalent
Project value	71.232	73.608	96.395				€
Functional unit 1	value	value	value				unit
Functional unit 2	value	value	value				unit



Comparison sheet (2/2)



Project value	71.232	73.608	96.395				€
---------------	--------	--------	--------	--	--	--	---

	CSM-CEM I	CSM-CEM III	CSM-AA				
Materials	3	1	1				kgCO2e/€
Energy	0	0	0				kgCO2e/€
Freight	0	0	0				kgCO2e/€
Mob/demob	0	0	0				kgCO2e/€
People's transportation	0	0	0				kgCO2e/€
Assets	0	0	0				kgCO2e/€
Waste	0	0	0				kgCO2e/€
	4	1	2	0	0	0	kgCO2e/€

	CSM-CEM I	CSM-CEM III	CSM-AA				
Primary sources emissions	240	88	127				tCO2e
emissions	15	15	34				tCO2e
Uncertainties	49	19	9				tCO2e

	CSM-CEM I	CSM-CEM III	CSM-AA				
Concrete / Slurry / Grout mix	221	69	1				tCO2e
Steel	0	0	0				tCO2e
Other materials	0	0	106				tCO2e
Other emission sources	34	34	53	0	0	0	tCO2e

ANEXO A.2

Anexo referente ao capítulo 5, contendo os resultados da calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

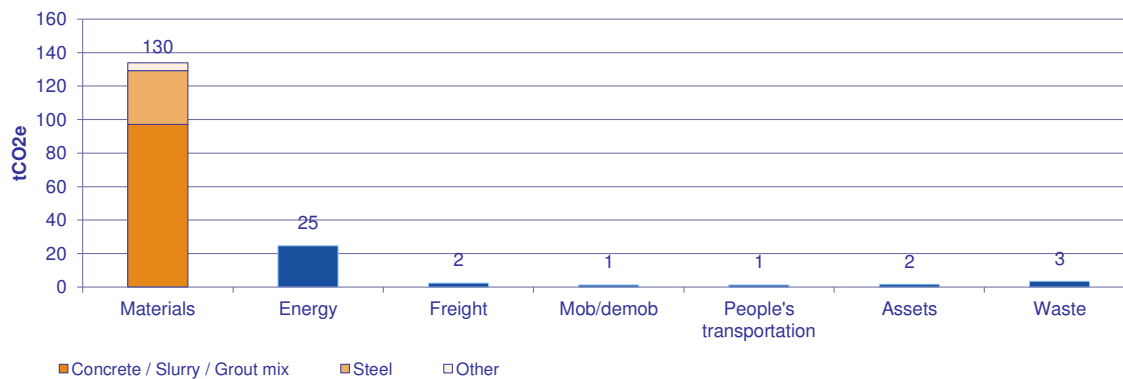
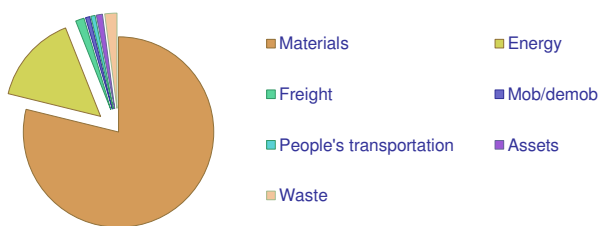
Company	FEUP
Project	muro guia
DATE	18/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	62022,84 €

Total	170 tCO₂e
ratio per Project value	3 kgCO ₂ e/€

Materials	130 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	97 tCO ₂ e
Steel	32 tCO ₂ e
Other	5 tCO ₂ e
Energy	25 tCO₂e
Freight	2 tCO ₂ e
Mob/demob	1 tCO ₂ e
People's transportation	1 tCO ₂ e
Assets	2 tCO ₂ e
Waste	3 tCO ₂ e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

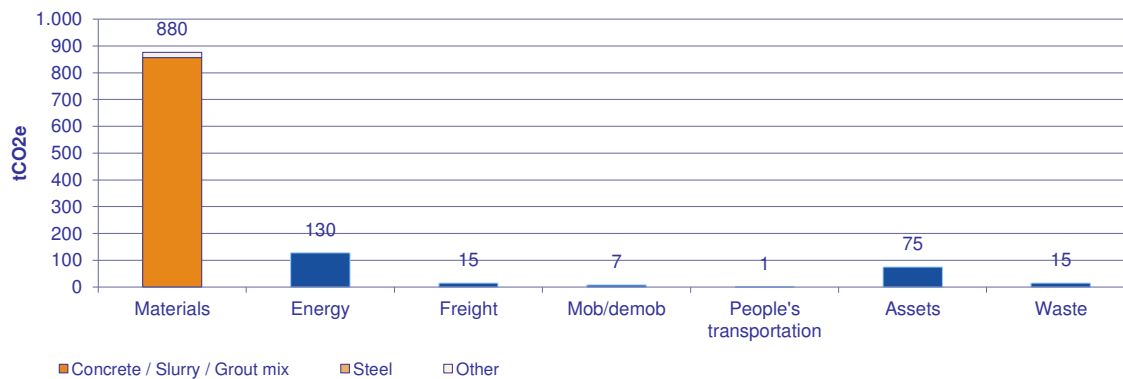
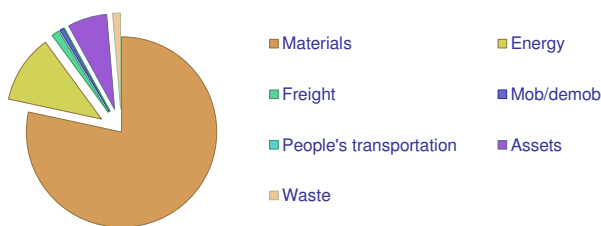
Company	FEUP
Project	estacas primárias
DATE	18/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	309487 €

Total	1.100 tCO₂e
ratio per Project value	4 kgCO ₂ e/€

Materials	880 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	860 tCO ₂ e
Steel	0 tCO ₂ e
Other	19 tCO ₂ e
Energy	130 tCO₂e
Freight	15 tCO₂e
Mob/demob	7 tCO₂e
People's transportation	1 tCO₂e
Assets	75 tCO₂e
Waste	15 tCO₂e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

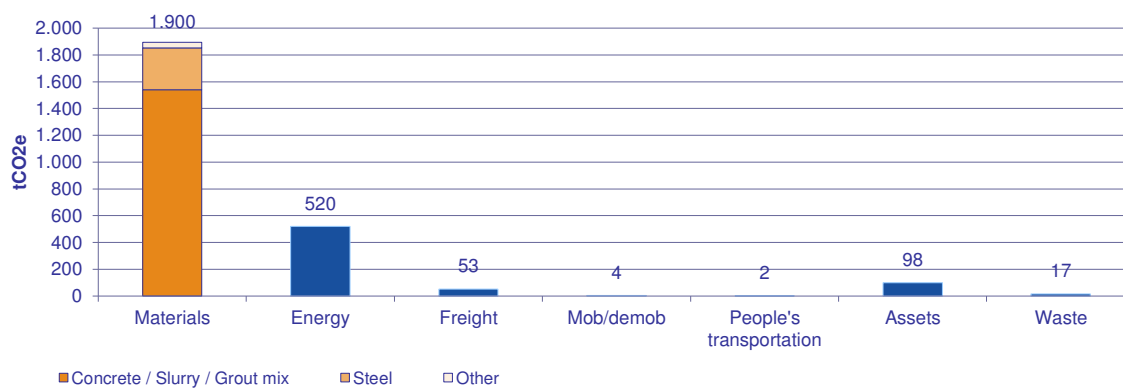
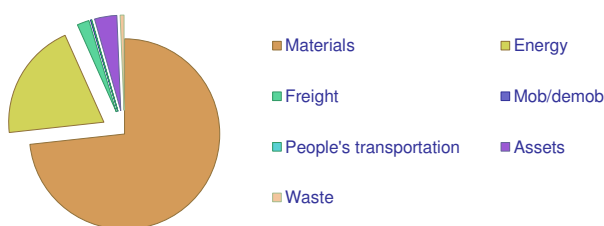
Company	FEUP
Project	estacas secundárias
DATE	18/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	613082,52 €

Total	2.600 tCO2e
ratio per Project value	4 kgCO2e/€

Materials	1.900 tCO2e
Concrete / Slurry / Gro	1.500 tCO2e
Steel	310 tCO2e
Other	42 tCO2e
Energy	520 tCO2e
Freight	53 tCO2e
Mob/demob	4 tCO2e
People's transportation	2 tCO2e
Assets	98 tCO2e
Waste	17 tCO2e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO2/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

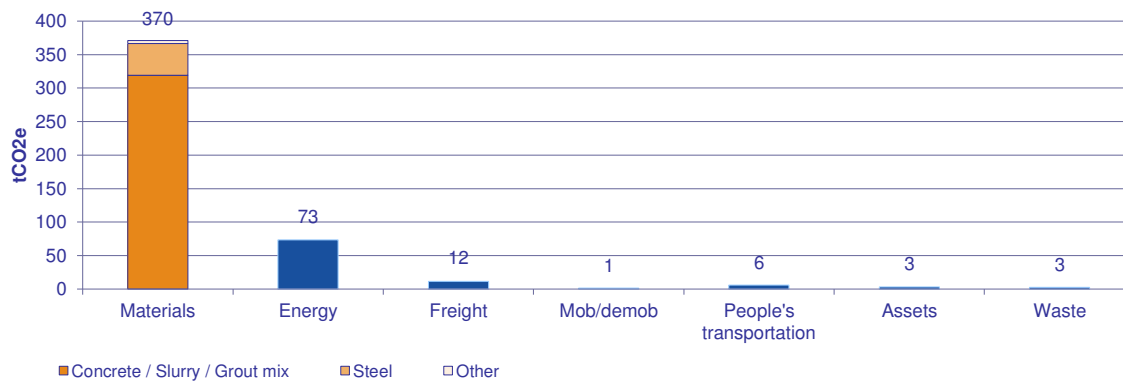
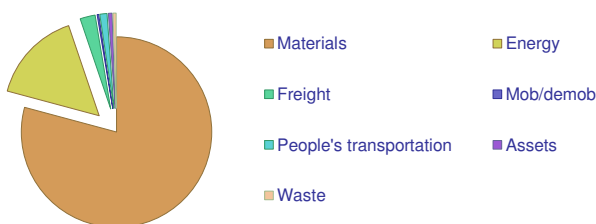
Company	FEUP
Project	Viga de Coroamento
DATE	18/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	112484,56 €

Total	470 tCO₂e
ratio per Project value	4 kgCO ₂ e/€

Materials	370 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	320 tCO ₂ e
Steel	47 tCO ₂ e
Other	4 tCO ₂ e
Energy	73 tCO₂e
Freight	12 tCO₂e
Mob/demob	1 tCO₂e
People's transportation	6 tCO₂e
Assets	3 tCO₂e
Waste	3 tCO₂e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

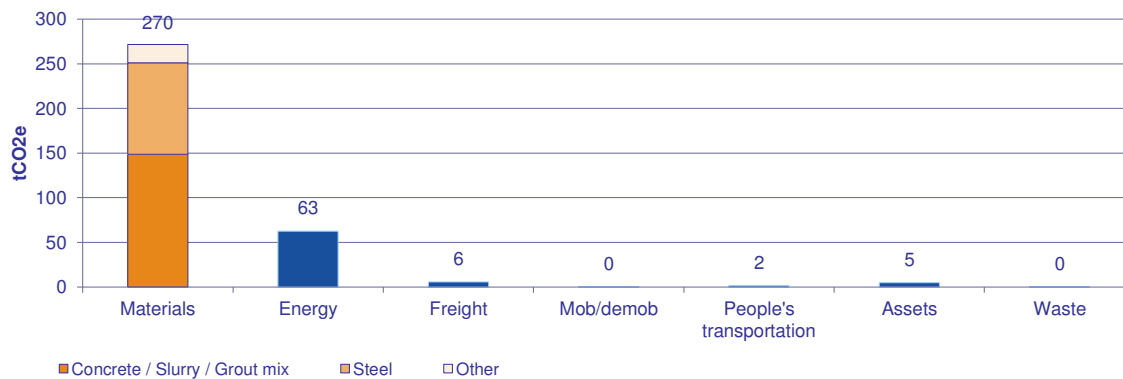
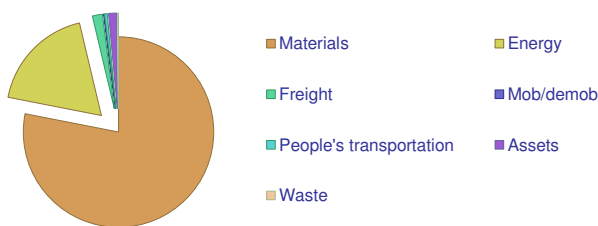
Company	FEUP
Project	ancoragens
DATE	18/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	379120 €

Total	350 tCO₂e
ratio per Project value	1 kgCO ₂ e/€

Materials	270 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	150 tCO ₂ e
Steel	100 tCO ₂ e
Other	20 tCO ₂ e
Energy	63 tCO₂e
Freight	6 tCO ₂ e
Mob/demob	0 tCO ₂ e
People's transportation	2 tCO ₂ e
Assets	5 tCO ₂ e
Waste	0 tCO ₂ e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

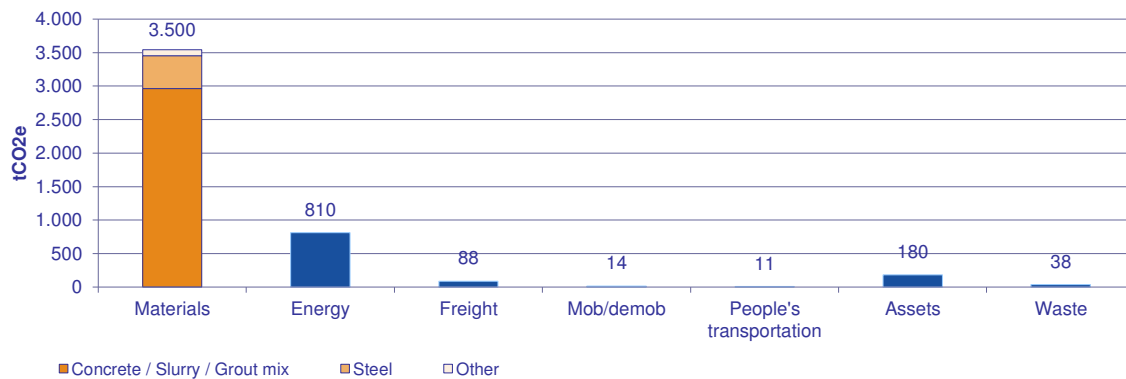
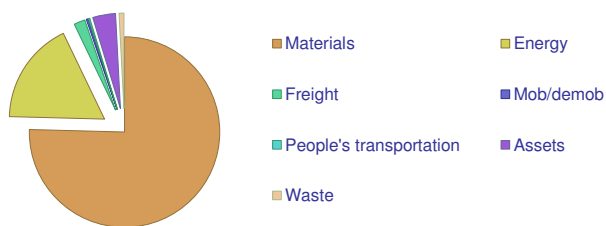
Company	FEUP
Project	Test
DATE	19/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	1476196,92 €

Total	4.700 tCO₂e
ratio per Project value	3 kgCO ₂ e/€

Materials	3.500 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	3.000 tCO ₂ e
Steel	490 tCO ₂ e
Other	90 tCO ₂ e
Energy	810 tCO₂e
Freight	88 tCO ₂ e
Mob/demob	14 tCO ₂ e
People's transportation	11 tCO ₂ e
Assets	180 tCO ₂ e
Waste	38 tCO ₂ e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

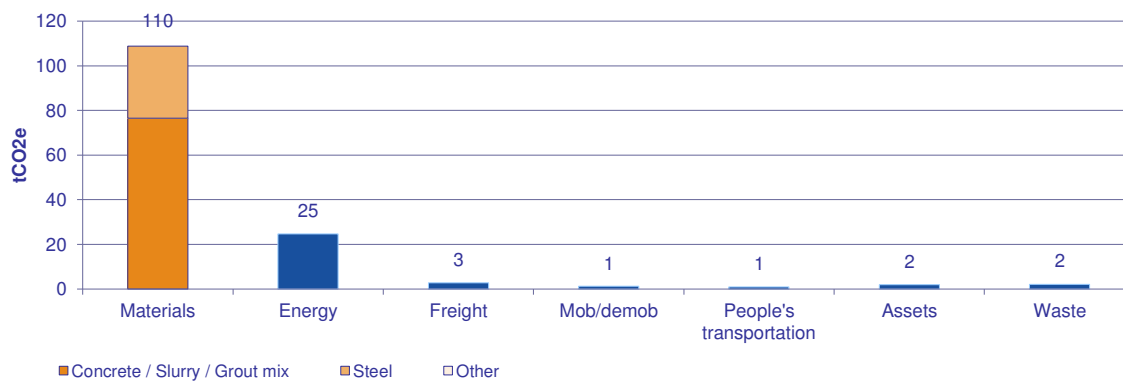
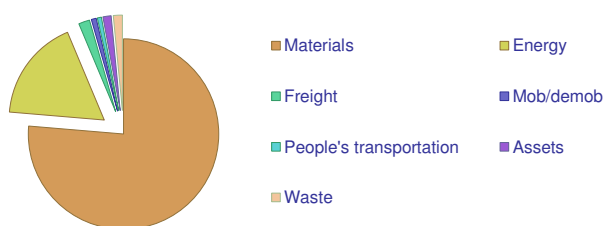
Company	FEUP
Project	MG Parede Moldada
DATE	19/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	42992,71 €

Total	140 tCO₂e
ratio per Project value	3 kgCO ₂ e/€

Materials	110 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	77 tCO ₂ e
Steel	32 tCO ₂ e
Other	0 tCO ₂ e
Energy	25 tCO₂e
Freight	3 tCO ₂ e
Mob/demob	1 tCO ₂ e
People's transportation	1 tCO ₂ e
Assets	2 tCO ₂ e
Waste	2 tCO ₂ e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

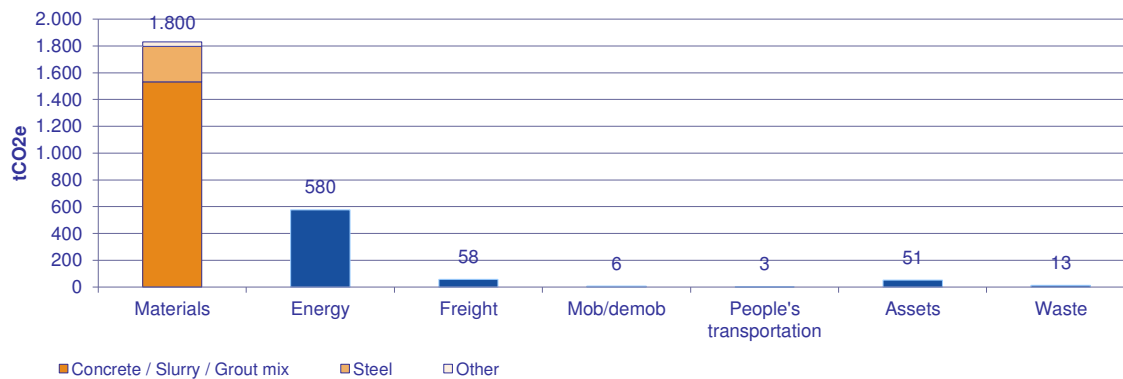
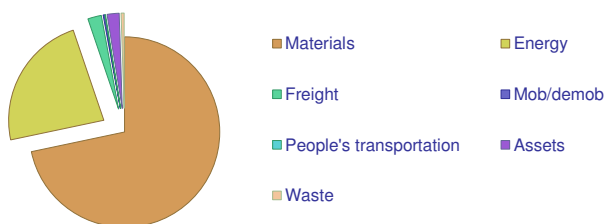
Company	FEUP
Project	paredes moldadas
DATE	18/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	905930,2 €

Total	2.500 tCO₂e
ratio per Project value	3 kgCO ₂ e/€

Materials	1.800 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	1.500 tCO ₂ e
Steel	260 tCO ₂ e
Other	34 tCO ₂ e
Energy	580 tCO₂e
Freight	58 tCO₂e
Mob/demob	6 tCO₂e
People's transportatio	3 tCO₂e
Assets	51 tCO₂e
Waste	13 tCO₂e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

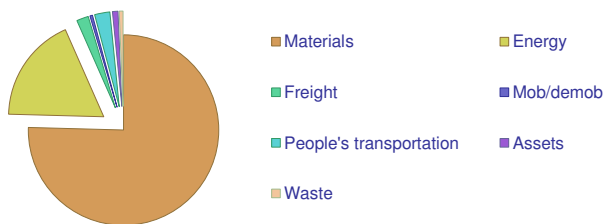
Company	FEUP
Project	VC Parede Moldada
DATE	19/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	71104,45 €

Total	280 tCO₂e
ratio per Project value	4 kgCO ₂ e/€

Materials	210 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	160 tCO ₂ e
Steel	47 tCO ₂ e
Other	0 tCO ₂ e
Energy	50 tCO₂e
Freight	6 tCO ₂ e
Mob/demob	1 tCO ₂ e
People's transportation	7 tCO ₂ e
Assets	3 tCO ₂ e
Waste	2 tCO ₂ e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

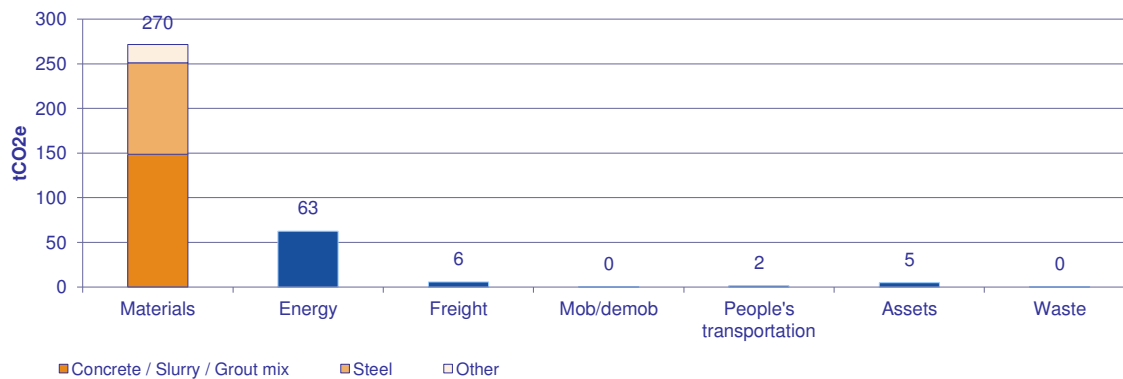
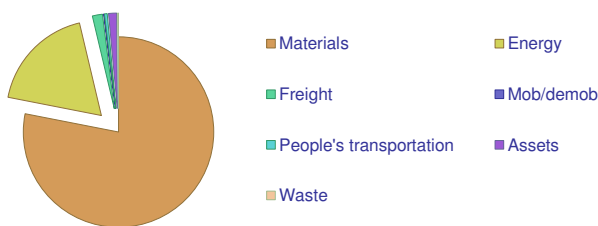
Company	FEUP
Project	ancoragens
DATE	18/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	379120 €

Total	350 tCO₂e
ratio per Project value	1 kgCO ₂ e/€

Materials	270 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	150 tCO ₂ e
Steel	100 tCO ₂ e
Other	20 tCO ₂ e
Energy	63 tCO₂e
Freight	6 tCO ₂ e
Mob/demob	0 tCO ₂ e
People's transportation	2 tCO ₂ e
Assets	5 tCO ₂ e
Waste	0 tCO ₂ e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

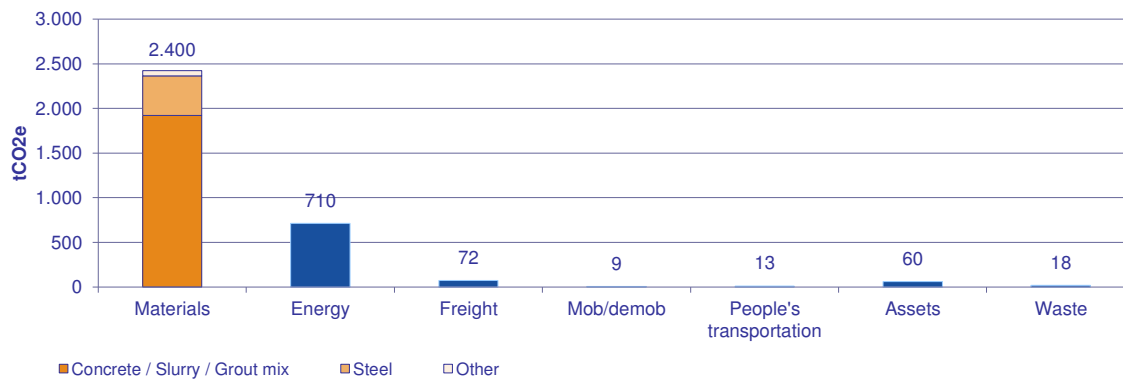
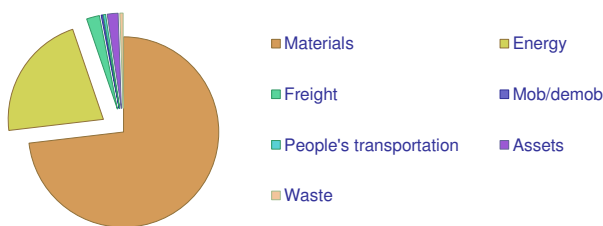
Company	FEUP
Project	Test
DATE	19/06/2014
Author	Ana Rita Teixeira

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	1399147,36 €

Total	3.300 tCO₂e
ratio per Project value	2 kgCO ₂ e/€

Materials	2.400 tCO₂e
Concrete / Slurry / Gro	1.900 tCO ₂ e
Steel	450 tCO ₂ e
Other	55 tCO ₂ e
Energy	710 tCO₂e
Freight	72 tCO₂e
Mob/demob	9 tCO₂e
People's transportation	13 tCO₂e
Assets	60 tCO₂e
Waste	18 tCO₂e



Activities covered

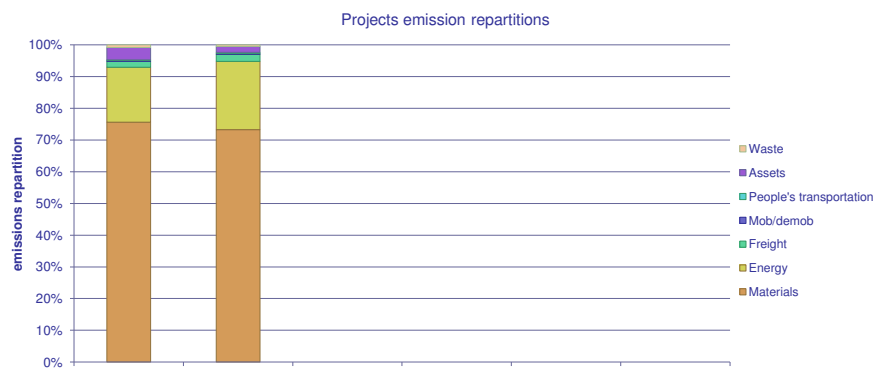
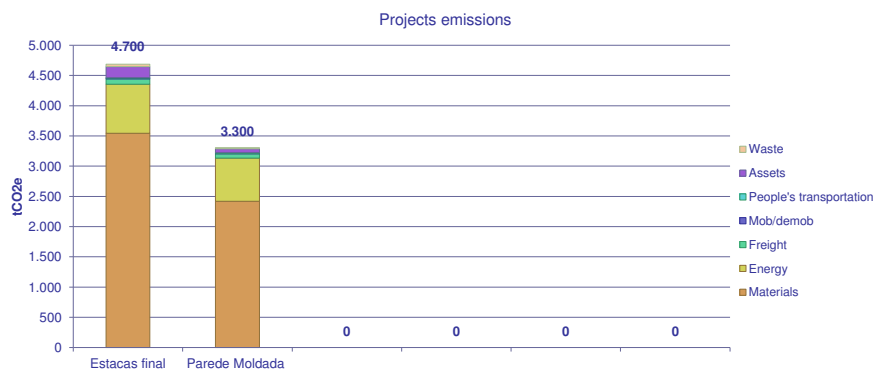


User-defined emission factors

wood 666 kgCO₂/t Defra 2012

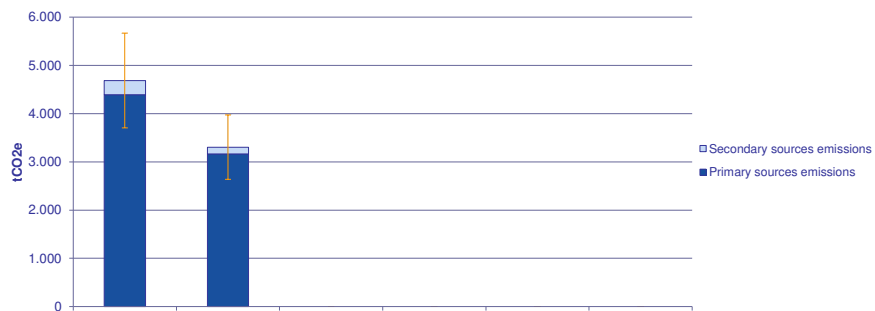
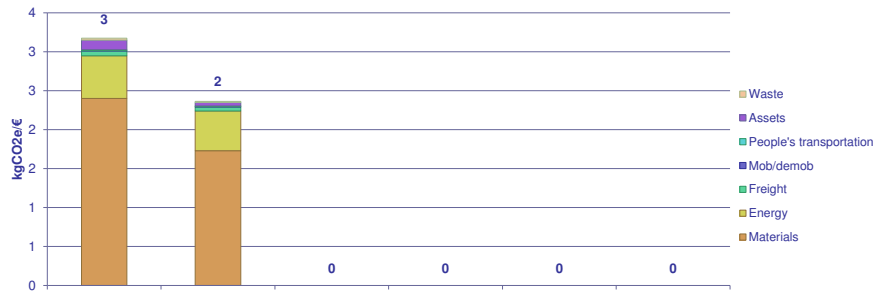
Comparison sheet (1/2)

	Estacas final	rede Moldada					
Materials	3.545	2.421					tCO2e
Energy	810	713					tCO2e
Freight	88	72					tCO2e
Mob/demob	14	9					tCO2e
People's transportation	11	13					tCO2e
Assets	182	60					tCO2e
Waste	38	18					tCO2e
Total	4.700	3.300	0	0	0	0	tCO2e
Working days	0	0					days
Workforce	0	0					Full time equivalent
Project value	1.476.197	1.399.147					€
Functional unit 1	0	0					unit
Functional unit 2	0	0					unit



Comparison sheet (2/2)

Projects emissions per Project value



Project value	1.476.197	1.399.147					€
---------------	-----------	-----------	--	--	--	--	---

	Estacas final	rede Moldad					
Materials	2	2					kgCO2e/€
Energy	1	1					kgCO2e/€
Freight	0	0					kgCO2e/€
Mob/demob	0	0					kgCO2e/€
People's transportation	0	0					kgCO2e/€
Assets	0	0					kgCO2e/€
Waste	0	0					kgCO2e/€
	3	2	0	0	0	0	kgCO2e/€

	Estacas final	rede Moldad					
Primary sources emissions	4.389	3.161					tCO2e
emissions	298	143					tCO2e
Uncertainties	982	667					tCO2e

	Estacas final	rede Moldad					
Concrete / Slurry / Grout mix	2.962	1.921					tCO2e
Steel	493	445					tCO2e
Other materials	90	55					tCO2e
Other emission sources	1.142	883	0	0	0	0	tCO2e

ANEXO A.3

Anexo referente ao capítulo 6, contendo os resultados da calculadora de carbono da EFFC/DFI/Carbone4



EFFC DFI Project Carbon Calculator

v2.0

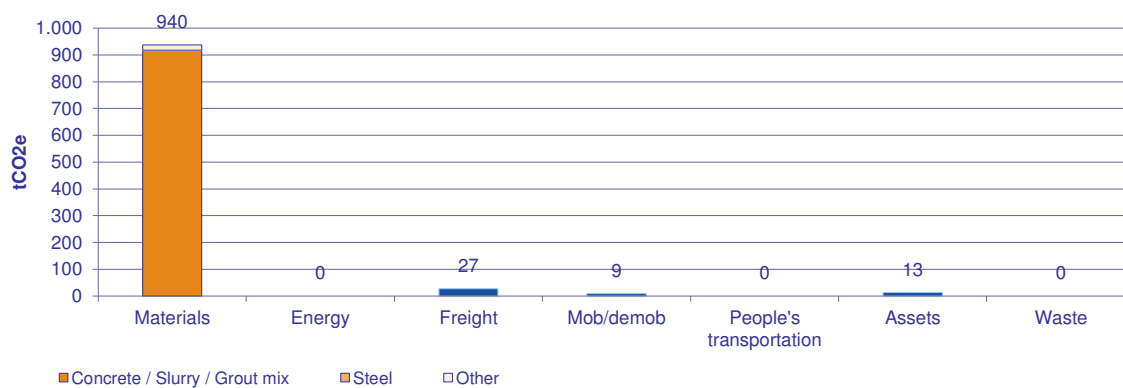
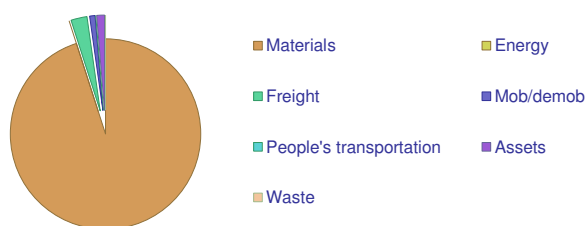
Company	FEUP
Project	Teste
DATE	00/01/1900
Author	00/01/1900

Emission factor database :
EFFC DFI methodology
recommended emission factors
1 added emission factors

Country	Portugal
Project value	0 €

Total	990 tCO2e

Materials	940 tCO2e
Concrete / Slurry / Gro	920 tCO2e
Steel	0 tCO2e
Other	19 tCO2e
Energy	0 tCO2e
Freight	27 tCO2e
Mob/demob	9 tCO2e
People's transportation	0 tCO2e
Assets	13 tCO2e
Waste	0 tCO2e



Activities covered



User-defined emission factors

wood 666 kgCO2/t Defra 2012

Additional percentage used